



**TAVLAMA SICAKLIĞININ VE NİKEL KATKILAMANIN
ZnO İNCE FİLMLERİN YAPISAL
VE OPTİK ÖZELLİKLERİNE
ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

Emre ŞENER

**Yüksek Lisans Tezi
Nanobilim ve Nanomühendislik Anabilim Dalı
Nanomalzeme Bilim Dalı
Prof. Dr. Önder ŞİMŞEK
2019
Her hakkı saklıdır**

**ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**TAVLAMA SICAKLIĞININ VE NİKEL KATKILAMANIN ZnO
İNCE FİLMLERİN YAPISAL VE OPTİK ÖZELLİKLERİNE
ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

Emre ŞENER

**NANOBİLİM VE NANOMÜHENDİSLİK ANABİLİM DALI
Nanomalzeme Bilim Dalı**

**ERZURUM
2019**

Her hakkı saklıdır



**T.C.
ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**



TEZ ONAY FORMU

**TAVLAMA SICAKLIĞININ VE KATKILAMANIN ZnO İNCE FİLMLERİN
YAPISAL VE OPTİK ÖZELLİKLERİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

Prof. Dr. Önder ŞİMŞEK danışmanlığında, Emre ŞENER tarafından hazırlanan bu çalışma 05/07/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Nanobilim ve Nanomühendislik Anabilim Dalı –Nanomalzeme Bilim Dalı’nda Yüksek Lisans Tezi olarak **oybirliği/oy çokluğu (3./3)** ile kabul edilmiştir.

Başkan: Prof. Dr. Önder ŞİMŞEK

İmza :

Üye: Dr. Öğr. Üyesi Mustafa Tolga YURTCAN

İmza :

Üye: Dr. Öğr. Üyesi Özkan BAYRAM

İmza :

Yukarıdaki sonuç;

Enstitü Yönetim Kurulu 11.07.2019 tarih ve 28. / . . 72 nolu kararı ile onaylanmıştır.

Prof. Dr. Mehmet KARAKAN
Enstitü Müdürü

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaklardan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak olarak kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

TAVLAMA SICAKLIĞININ VE NİKEL KATKILAMANIN ZnO İNCE FİLMLERİN YAPISAL VE OPTİK ÖZELLİKLERİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ

Emre ŞENER

Atatürk Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Nanobilim ve Nanomühendislik Anabilim Dalı
Nanomalzeme Bilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Önder ŞİMŞEK

Bu çalışmada, magnetron sıçratma tekniği kullanılarak cam alttaş üzerinde saf ve % 0,16, % 0,20 ve % 0,24 oranlarda nikel katkılı çinko oksit (Ni:ZnO) ince filmlerin elde edilmesi amaçlanmıştır. Ni:ZnO ince filmler, 450 °C sıcaklıkta, 480 mTorr basınçta ve 30 dakikalık kaplama süresinde elde edilmiştir. Nikel (Ni) hedef malzemesinin DC (doğru akım) gücü sırasıyla 20 W, 30 W ve 40 W ve çinko oksit (ZnO) hedef malzemesinin Radyo Frekansı (RF) gücü ise 150 W olarak belirlenmiştir. Saf ZnO ince filmler için 400 °C ile 550 °C sıcaklık aralıklarında ayrıca tavlama işlemi de gerçekleştirilmiştir. İnce filmlerin karakterizasyonu için X-ışını kristalografisi (XRD), taramalı elektron mikroskobu (SEM), Raman ve ultraviyole - görünür ışık absorpsiyon spektroskopisi (UV-Vis) analizleri gerçekleştirilmiştir. XRD analizleri, tüm ince filmler için tercihli yönelimin (002) olduğunu göstermiştir. Katkısız ve nikel katkılı ZnO (Ni: ZnO) ince filmler için SEM analizleri yapıldı ve Ni katkılama ile ince filmlerin morfolojik yapısının önemli ölçüde etkilendiği tespit edilmiştir. İnce filmlerin optik geçirgenliği (%T) görünür bölgede (550 nm) yaklaşık olarak %90 olarak belirlenmiştir. Bu değer Ni katkılama ile azalma eğilimindeyken diğer taraftan artan tavlama sıcaklığı ile de artma eğilimi göstermiştir. Katkısız ZnO ince filmin optik bant aralığı (E_g) 3,24 eV iken Ni katkılama ile bu değer 3,11 eV'ye kadar azalırken tavlama sıcaklığı ile bu değerde önemli bir değişiklik tespit edilememiştir.

2019, 65 sayfa

Anahtar Kelimeler: RF magnetron sıçratma, ZnO, Ni katkılama, tavlama, wurtzite yapı, Ni:ZnO

ABSTRACT

Master Thesis

THE INVESTIGATION OF THE EFFECT OF THE ANNEALING TEMPERATURE AND THE NICKEL DOPING ON THE STRUCTURAL AND OPTICAL PROPERTIES OF ZnO THIN FILMS

Emre ŞENER

Atatürk University
Graduate School of Natural and Applied Science
Department of Nanoscience and Nanoengineering
Department of Nanomaterials

Supervisor: Prof. Dr. Önder ŞİMŞEK

In this study, it is aimed to obtain undoped and nickel (Ni) doped zinc oxide (ZnO) thin films. Ni atoms were preferred as doping atoms. ZnO thin films were obtained at a pressure of 480 mTorr, a temperature of 450 °C and a deposition time of 30 minutes. The RF power for the ZnO target was 150 W and on the other hand the DC power for the Ni target was determined to be 20 W, 30 W and 40 W, respectively. ZnO thin films were also subjected to annealing in the range of 400 °C to 550 °C degrees. XRD, SEM, Raman and UV-Vis spectroscopy analyzes were performed for characterization of these thin films. XRD analysis revealed that the preferred orientation of all thin films was (002). SEM analyzes were performed for undoped and Nickel doped ZnO (Ni:ZnO) thin films and showed that Ni doped samples significantly affected the morphological structure of the thin films. The optical transmittance (T%) was determined to be about 90% in the visible region (550 nm). This value tended to decrease with the nickel doping effect and on the other hand tended to increase slightly with the annealing temperature. The optical band gap (E_g) of the ZnO thin film was 3.24 eV, which decreased to 3.11 eV with nickel doping. It was found that the annealing temperature had no significant effect on the optical band gap.

2019, 65 pages

Keywords: RF magnetron sputtering, ZnO, Ni doping, annealing, wurtzite structure, Ni:ZnO

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans çalışması olarak sunduğum bu çalışma, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Nanomalzeme Bilim Dalında yapılmıştır.

Çalışmalarımın her safhasında bana her türlü desteği sağlayan çok değerli hocam Sayın Prof. Dr. Önder ŞİMŞEK'e teşekkür ve saygılarımı sunarım.

Ayrıca çalışmalarım sırasında önerileriyle beni yönlendiren ve görüşleriyle katkıda bulunan Sayın Prof. Dr. Emre GÜR'e ve sürekli desteğini hissettiğim, tüm yüksek lisans öğrenimim boyunca bana yol gösteren Sayın Dr. Öğr. Üyesi Özkan BAYRAM'a teşekkürlerimi sunarım.

Hayatımın her evresinde olduğu gibi yüksek lisans öğrenimim süresince de benden desteklerini esirgemeyen sevgili eşim ve sevgili annem başta olmak üzere ailemin tüm bireylerine ayrı ayrı teşekkür ederim.

Emre ŞENER

Temmuz, 2019

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
İÇİNDEKİLER	iv
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ	x
1. GİRİŞ.....	1
2. KURAMSAL TEMELLER.....	3
2.1. Yarıiletkenler.....	3
2.1.1. Katkılı Yarıiletkenler.....	4
2.1.1.a. n-tipi yarıiletkenler	4
2.1.1.b. p-tipi yarıiletkenler	6
2.2. Metal Oksitler.....	7
2.2.1. ZnO.....	8
2.2.1.a. Elektriksel Özellikleri.....	10
2.2.1.b. Optik Özellikleri.....	11
2.3. İnce Film Sentezleme Yöntemleri.....	11
2.3.1. Sol-jel Yöntemi	13
2.3.2. Darbeli Lazer Biriktirme (PLD) Yöntemi	14
2.3.3. Kimyasal Buhar Biriktirme (CVD) Yöntemi	17
2.3.4. Sıçratma Yöntemi.....	18
2.4. Kaynak Özetleri.....	20
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	25
3.1. Materyal.....	25
3.1.1. Sarf Malzemeler	25
3.1.2. Kullanılan Cam Altaşların Temizlenmesi	25
3.2. Yöntem	25
3.2.1. Sıçratma Metodu ile İnce Filmlerin Elde Edilmesi	25

3.2.2. Kullanılan Analiz Yöntemleri	29
3.2.2.a. X-Işını Difraktometresi (XRD)	29
3.2.2.b. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM)	31
3.2.2.c. Raman Spektroskopisi	33
3.2.2.d. Ultraviyole ve Görünür Işık Absorpsiyon Spektroskopisi (UV-Vis).....	35
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA.....	37
4.1. İnce Filmlerin Yapısal ve Optik Analizleri	37
4.1.1. İnce Filmlerin XRD Analizleri.....	37
4.1.2. İnce Filmlerin Raman Analizleri	40
4.1.3. İnce Filmlerin SEM Analizleri	41
4.1.4. İnce Filmlerin UV-Vis Analizleri.....	46
4.2. Tavlanmış İnce Filmlerin Yapısal ve Optik Analizleri	48
4.2.1. Tavlanmış İnce Filmlerin XRD Analizleri.....	48
4.2.2. Tavlanmış İnce Filmlerin Raman Analizleri	50
4.2.3. Tavlanmış İnce Filmlerin SEM Analizleri	50
4.2.4. Tavlanmış İnce Filmlerin UV-Vis Analizleri.....	53
5. SONUÇ ve ÖNERİLER.....	56
KAYNAKLAR	60
ÖZGEÇMİŞ	65

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

cm^2	Santimetre Kare
μm	Mikrometre
Å	Angström
Al	Alüminyum
As	Arsenik
C	Karbon
°C	Santigrat Derece
CVD	Kimyasal Buhar Biriktirme
D	Kristal Büyüklüğü
DC	Doğru Akım
e	Elektron
eV	Elektron Volt
F	Flor
Ga	Galyum
Ge	Germanyum
$h\nu$	Foton Enerjisi
I	Akım
In	İndiyum
MgO	Magnezyum Oksit
Ni	Nikel
nm	Nanometre
P	Fosfor
PLD	Darbeli Lazer Biriktirme
RF	Radyo Frekansı
Sb	Antimon
SEM	Taramalı Elektron Mikroskopisi
Si	Silisyum
UV	Ultraviyole
V	Voltaj

XRD	X-Işını Kırınımı
ZnO	Çinko Oksit
B	Bor
θ	Yarı Kırınım Açısı
λ	Dalga Boyu
a	Optik Soğurma Katsayısı
d	Düzlemler Arası Mesafe



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Saf Si kristalinin a) yapısı ve b) kafes sistemi.....	4
Şekil 2.2. Sb atomunun a) yapısı ve b) kafes sistemi	5
Şekil 2.3. B atomunun a) yapısı ve b) kafes sistemi	7
Şekil 2.4. a) kübik kayatuzu, (b) kübik çinko sülfid, (c) hekzagonal wurtzite yapı	10
Şekil 2.5. Bazı ZnO ince film sentezleme yöntemleri.	13
Şekil 2.6. Sol-jel yöntemi basamakları	14
Şekil 2.7. PLD sisteminin vakum odasının şematik diyagramı	16
Şekil 2.8. CVD sistemi şematik diyagramı.....	18
Şekil 2.9. Sıçratma sistemi şematik diyagramı	19
Şekil 3.1. RF Magnetron sıçratma cihazı görüntüsü.....	27
Şekil 3.2. RF Magnetron sıçratma arayüzü.....	27
Şekil 3.3. Kaplama öncesi cam alttaşların görüntüsü.	28
Şekil 3.4. Kaplama sonrası cam alttaşların görüntüsü.	28
Şekil 3.5. Kaplama sonrası alttaş tutucunun görüntüsü.	29
Şekil 3.6. XRD şematik diyagramı	30
Şekil 3.7. PANalytical Empyrean XRD cihazı.	31
Şekil 3.8. SEM şematik diyagramı	32
Şekil 3.9. FEI Nova NanoSEM 450 SEM cihazı.	33
Şekil 3.10. Raman spektroskopisi şematik diyagramı	34
Şekil 3.11. WITech alpha 300R mikro Raman cihazı.	34
Şekil 3.12. UV-Vis absorpsiyon spektroskopi şematik diyagramı.	35
Şekil 3.13. Shimadzu UV-3600 Plus UV-Vis cihazı.	36
Şekil 4.1. Saf ZnO ve Ni:ZnO filmlerin XRD spektrumları.....	37
Şekil 4.2. Saf ZnO ve Ni:ZnO ince filmlerin (002) tepe kaymalarının konumu	38
Şekil 4.3. Saf ZnO ve Ni:ZnO filmlerin Raman spektrumu.	41
Şekil 4.4. Saf ZnO filmin 35 000 kat büyütülmüş SEM görüntüsü.	42
Şekil 4.5. Saf ZnO filmin 250 000 kat büyütülmüş SEM görüntüsü.	42
Şekil 4.6. %0,16 Ni:ZnO filmin 35 000 kat büyütülmüş SEM görüntüsü.....	43
Şekil 4.7. %0,16 Ni:ZnO filmin 150 000 kat büyütülmüş SEM görüntüsü.....	43

Şekil 4.8. %0,20 Ni:ZnO filmin 35 000 kat büyütülmüş SEM görüntüsü.....	44
Şekil 4.9. %0,20 Ni:ZnO filmin 150 000 kat büyütülmüş SEM görüntüsü.....	44
Şekil 4.10. %0,24 Ni:ZnO filmin 35 000 kat büyütülmüş SEM görüntüsü.....	45
Şekil 4.11. %0,24 Ni:ZnO filmin 150 000 kat büyütülmüş SEM görüntüsü.....	45
Şekil 4.12. Ni:ZnO ince filmlerin soğurma spektrumu.....	46
Şekil 4.13. Ni:ZnO ince filmlerin geçirgenlik spektrumu.	46
Şekil 4.14. Ni:ZnO ince filmler için $(ah\nu)^2$ 'ye karşı enerji (hv) grafikleri.....	47
Şekil 4.15. Tavlanmış ZnO filmlerin XRD spektrumları.	49
Şekil 4.16. Tavlanmış ZnO filmlerin (002) tepe kaymalarının konumu.....	49
Şekil 4.17. Tavlanmış ZnO filmlerin Raman spektrumu.....	50
Şekil 4.18. 400°C'de tavlanmış ZnO ince filmin 50 000 kat büyütülmüş SEM görüntüsü.....	51
Şekil 4.19. 450°C'de tavlanmış ZnO ince filmin 50 000 kat büyütülmüş SEM görüntüsü.....	51
Şekil 4.20. 500°C'de tavlanmış ZnO ince filmin 50 000 kat büyütülmüş SEM görüntüsü.....	52
Şekil 4.21. 550°C'de tavlanmış ZnO ince filmin 100 000 kat büyütülmüş SEM görüntüsü.....	52
Şekil 4.22. Tavlanmış ZnO ince filmlerin soğurma spektrumu.....	53
Şekil 4.23. Tavlanmış ZnO ince filmlerin geçirgenlik spektrumu.....	54
Şekil 4.24. Tavlanmış ZnO ince filmlerin bant aralığı spektrumu.	54

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. Hekzagonal ZnO'in ana fiziksel özellikleri.....	9
Çizelge 3.1. Deney parametreleri.....	26
Çizelge 4.1. Saf ZnO ve Ni:ZnO ince filmlerin bazı yapısal özellikleri.....	40
Çizelge 5.1. Saf ZnO ve Ni:ZnO ince filmlerin yasak enerji aralıkları.	57
Çizelge 5.2. Farklı sıcaklıklarda tavllanmış ZnO ince filmlerin yasak enerji aralıkları.	58

1. GİRİŞ

İnsanlığın başlangıcından günümüze kadar yaşam koşulları değiştikçe ihtiyaçlar da değişmiş ve fazlalaşmıştır. İhtiyaçlardaki bu değişimler ise insanlığı sürekli bir yenilik isteği içerisinde sokmuştur. Değişim süreci ateş, teker ve yazının bulunması ile başlayıp parçalanamaz denilen atomun parçalanması ile devam etmiş ve her geçen gün teknolojik bir keşfin ortaya çıktığı bilgi çağı dönemine ulaşmıştır. Bilgi çağının başlaması ile birlikte kullanılan mevcut malzemeler yetersiz kalmış, bunların dışında farklı yapısal, elektriksel ve optik özelliklere sahip malzemelere olan ihtiyaç ortaya çıkmıştır (Köç 2016).

Teknolojinin gelişmeye başlaması ve farklı malzemelere olan ihtiyaçların ortaya çıkması ile birlikte ZnO ince filmler üzerinde yapılan araştırmalar, 1930'larda başlamış, 1970'lerin sonlarına doğru iyiden iyiye artmıştır. Yapılan araştırmalar sonucunda, ZnO'in barındırdığı birçok kendine has yapısal, optik ve elektriksel özelliği nedeni ile en ilginç yarıiletkenlerden birisi olduğu belirlenmiştir. Bu kendilerine has özellikleri nedeniyle ZnO'ler; gaz sensörleri, güneş pilleri, şeffaf iletkenler, LED'ler, transistörler, dönüştürücüler gibi birçok uygulama için uygun malzemelerdir.

ZnO ince filmleri farklı materyaller ile katkılayarak veya saf olarak sentezlemek için birçok farklı yöntem kullanılmaktadır. Bunların içerisinde CVD, PLD, Sol-jel ve sıçratma yöntemleri en öne çıkanlarıdır.

Sıçratma yöntemi, basit, ucuz, geniş çalışma aralığında ve kalınlığın iyi derecede düzgün dağıldığı filmler oluşturabilmektedir. Bu avantajlarından dolayı sıçratma yöntemi yaygın olarak kullanılmaktadır.

ZnO ile saf ince filmler elde edildiği gibi, katkılı ince filmlerde elde edilmektedir. Bunlar arasında nikel (Ni), alüminyum (Al), kadmiyum (Cd) ve magnezyum (Mg) en çok tercih edilenleridir. Belirtilen materyaller katkılanarak hazırlanmış olan ZnO ince filmlere ait birçok çalışma bulunmaktadır.

Bu tez çalışmasında, farklı oranlarda (%0,16, %0,20 ve %0,24) Ni:ZnO ve saf ZnO ince filmler, sıçratma yöntemi kullanılarak sentezlenmiştir. Elde edilen ince filmlerin yapısal ve optik özellikleri üzerine incelemeler yapılmış olup bu incelemeleri yapmak için XRD, Raman, SEM ve UV-Vis gibi analiz yöntemleri kullanılmıştır. Ayrıca saf ZnO ince filmler 400°C – 550°C arasında, sıcaklık 50°C arttırılarak tavllanmış olup belirtilen sıcaklıklarda tavlanan ince filmlerin yapısal ve optik özelliklerinde ki değişim XRD, Raman, SEM ve UV-Vis gibi analiz yöntemleri yardımıyla incelenmiştir.

Tez çalışması, aşağıdaki gibi düzenlenmiştir. İkinci bölümde, yarıiletkenler, metal oksitler ve ince film sentezleme yöntemleri ve kaynak özetleri ile daha önce yapılan çalışmalar hakkında bilgi verilmiştir. Üçüncü bölümde, hangi sarf malzemelerin kullanıldığı, ince filmlerin nasıl elde edildiği ve elde edilen ince filmlerin hangi analiz yöntemlerine tabi tutulduğu hakkında bilgi verilmiştir. Dördüncü bölümde, ince filmlerin yapısal ve optik özelliklerini belirlemek için yapılan analiz sonuçları verilmiştir. Beşinci bölümde ise elde edilen tüm sonuçlar yorumlanmıştır.

2. KURAMSAL TEMELLER

2.1. Yarıiletkenler

Silisyum (Si), germanyum (Ge) ve galyum arsenit (GaAs) gibi yarıiletken malzemeler, iletken ile yalıtkan arasında elektriksel özelliklere sahiptir. Bu malzemeler ne çok iyi iletken ne de çok iyi yalıtkan değildir, bu nedenle yarıiletkenler olarak adlandırılırlar.

Kendi başlarına Si ve Ge iç yarıiletkenler olarak sınıflandırılır, yani yarıiletken malzemedan başka bir şey içermeyen kimyasal olarak saf malzemelerdir. Ancak bu içsel yarıiletken malzemeye eklenen safsızlık miktarını kontrol ederek iletkenliğini de kontrol etmek mümkündür. Sırasıyla serbest elektron veya boşluklar üretmek için bu içsel maddeye verici veya alıcı olarak adlandırılan çeşitli elementler ilave edilebilir.

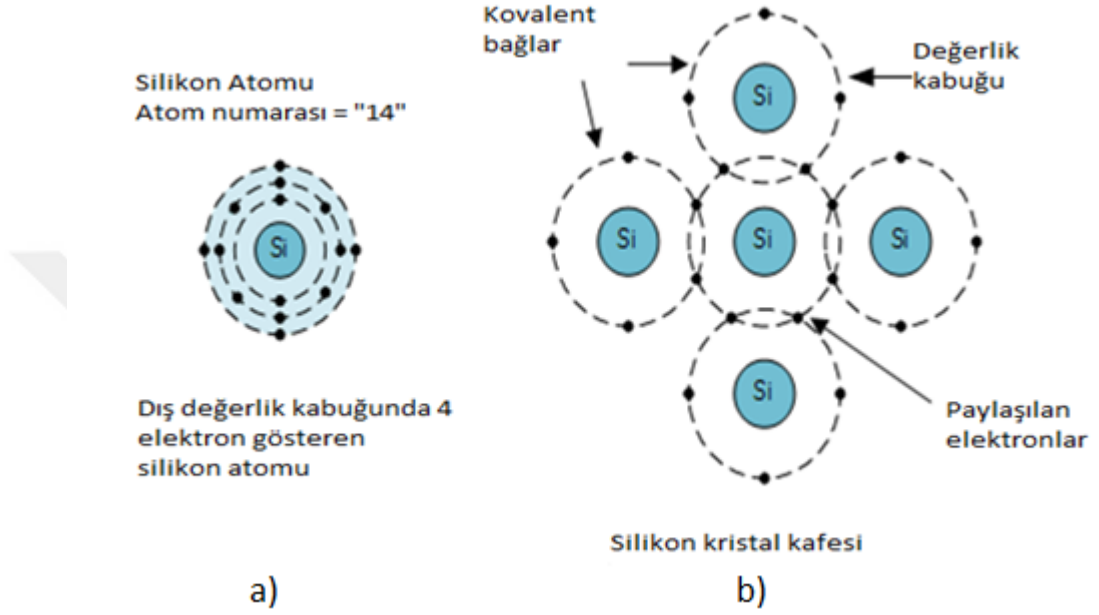
Yarıiletken atomlara verici veya alıcı atom ekleme işlemine katkılama denir. Bu Si malzemesini yeterli oranda katkılayarak, bu malzemeleri n-tipi veya p-tipi yarıiletken malzemelere dönüştürebiliriz.

Bugüne kadar kullanılan en yaygın yarıiletken temel malzeme Si'dir. Si, en dış kabuğunda komşu Si atomlarıyla paylaştığı dört değerlik elektronuna sahiptir. İki Si atomu arasındaki bağın yapısı, her atomun komşusu ile bağı çok kararlı hale getiren bir elektronu paylaşacağı şekildedir. Si kristalinin etrafında hareket edebilecek çok az serbest elektron bulunduğundan, saf Si kristalleri iyi yalıtkanlardır.

Si atomları, kesin bir simetrik düzende düzenlenmiş ve onları kristalimsi bir katı yapıya getirmiştir. Saf silika kristalinin (silisyum dioksit veya cam) genellikle içsel bir kristal olduğu kabul edilir (safsızlığı yoktur) ve bu nedenle serbest elektronları yoktur.

Ancak, bir Si kristalini bir batarya kaynağına bağlamak, bundan elektrik akımı almak için yeterli değildir. Bunu yapmak için, Si içerisinde “pozitif” ve “negatif” bir kutup

yaratmamız gerekir; böylece elektronlar ve dolayısıyla elektrik akımı Si'den akar. Bu kutuplar, Si'yi belirli elementler ile katkılayarak elde edilir. Şekil 2.1 Saf Si kristalinin yapısını ve kafes sistemini göstermektedir.



Şekil 2.1. Saf Si kristalinin a) yapısı ve b) kafes sistemi (Polat 2009).

2.1.1. Katkılı Yarıiletkenler

2.1.1.a. n-tipi yarıiletkenler

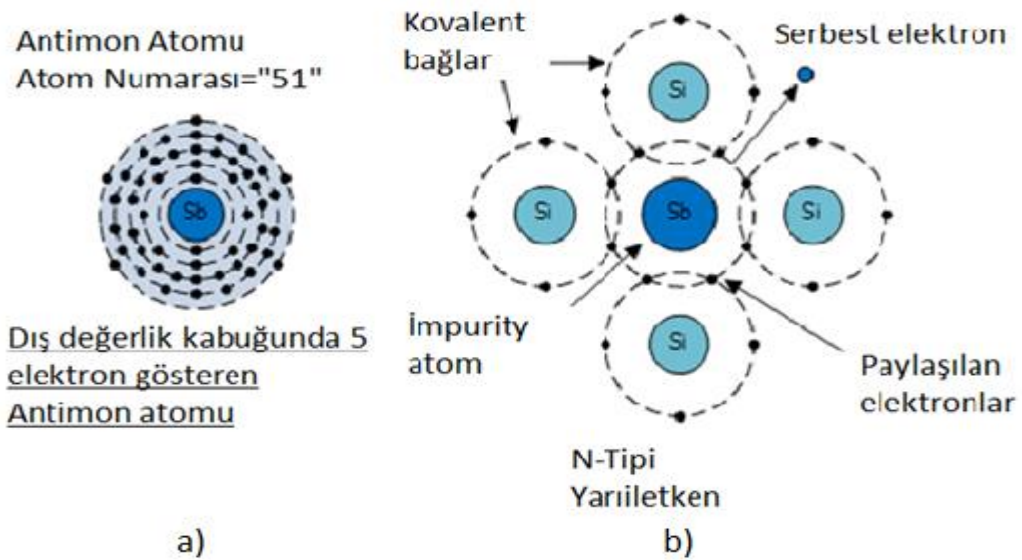
Si kristalinin elektriği iletebilmesi için, kristal yapıya arsenik (As), antimon (Sb) veya fosfor (P) gibi bir safsızlık atomu katkılanmak gerekir. Bu atomlar, komşu atomlarla paylaşmak için en dış yörüngelerinde beş elektrona sahiptir ve genellikle "pentavalent" safsızlıklar olarak adlandırılır.

Bu beş yörünge elektronundan dördü, komşu Si atomları ile bir elektrik voltajı uygulandığında (elektron akışı) harekete geçecek bir serbest elektron bırakarak bağlanmalarını sağlar.

Sb ve P, sıklıkla silikona bir safsızlık katkı maddesi olarak kullanılır. Sb, kabuğa yerleştirilmiş 51 elektrona sahip olup en dıştaki orbital beş elektrona sahiptir. Elde edilen yarıiletken temel malzeme, her biri negatif yüklü olan, aşırı akım taşıyan elektronlara sahiptir ve bu nedenle n-tipi bir malzeme olarak adlandırılır.

Harici bir güç kaynağı tarafından uyarıldığında, bu uyarımla Si atomlarından serbest kalan elektronlar, hızlı bir şekilde katkılı Sb atomlarından elde edilen serbest elektronlar ile değiştirilir. Fakat bu hareket, katkılı kristalin etrafında yüzen ekstra bir elektron (serbest elektron) bırakarak negatif olarak yüklenmesini sağlar.

Verici yoğunluğu, alıcı yoğunluğundan daha büyük olduğunda yarıiletken bir materyal, n-tipi olarak sınıflandırılır. Başka bir deyişle, deliklerden daha fazla elektrona sahiptir ve böylece Şekil 2.2'de gösterildiği gibi negatif bir kutup oluşturur.



Şekil 2.2. Sb atomunun a) yapısı ve b) kafes sistemi (Polat 2009).

2.1.1.b. p-tipi yarıiletkenler

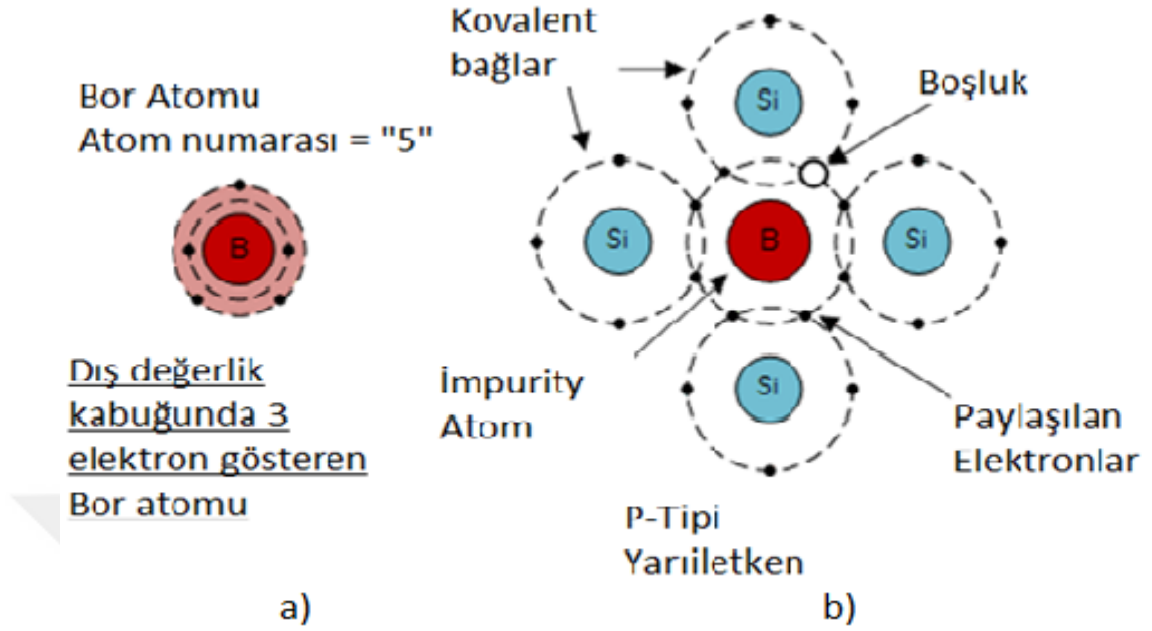
P-tipi yarı iletkenlerden bahsedecek olursak; en dış yörüngelerinde sadece üç değerlik elektronuna sahip olan alüminyum (Al), bor (B) veya indiyum (In) gibi kristal yapıya “Üç Değerli” (3 elektron) safsızlık verirsek, dördüncü elektron kapalı bağ oluşturamaz. Bu nedenle, yarıiletken malzemeye, elektronların etkili bir şekilde kaybolduğu kristalin yapısında delikler olarak bilinen, pozitif yüklü taşıyıcıların bolluğunu veren tam bir bağlantı mümkün değildir.

Si kristalinde bir delik olduğu için, ona komşu bir elektron çekilir ve onu doldurmak için deliğe girmeye çalışır. Bununla birlikte, deliği dolduran elektron hareket ettikçe arkasında bir delik daha bırakır. Bu da arkasından başka bir delik oluşturan bir başka elektronu çeker ve böylece deliklerin kristal yapı boyunca pozitif bir yük olarak hareket ettiği görünümü verir.

Deliklerin bu hareketi Si’de elektron kıtlığına neden olur ve katkılı kristalin tamamını pozitif bir kutba dönüştürür. Her safsızlık atomu bir delik oluşturduğundan, üç değerlikli safsızlıklar genellikle sürekli olarak ekstra veya serbest elektronları kabul ettiği için alıcı olarak bilinir.

B, genellikle çekirdeği etrafındaki üç, kabuğa yerleştirilmiş yalnızca beş elektrona sahip olduğu ve en dıştaki orbitalde yalnızca üç elektrona sahip olduğu için üç değerlikli katkı maddesi olarak kullanılır. B atomlarının katkılanması, iletimin temel olarak p-tipi bir malzemeyle sonuçlanan pozitif yük taşıyıcılarından meydana gelmesine neden olur. Bu sayede pozitif delikler çoğunluk taşıyıcıları olarak adlandırılırken, serbest elektronlar azınlık taşıyıcıları olarak adlandırılır.

Yarıiletken bir temel madde, alıcı yoğunluğu, verici yoğunluğundan daha büyük olduğunda, p-tipi olarak sınıflandırılır. Bu nedenle, p-tipi bir yarıiletken elektronlardan daha fazla delik içerir. Şekil 2.3'te B atomunun yapısı ve kafes sistemi belirtilmiştir.



Şekil 2.3. B atomunun a) yapısı ve b) kafes sistemi (Polat 2009).

2.2. Metal Oksitler

Metal oksitler, fizik, kimya ve malzeme biliminin birçok alanında çok önemli bir rol oynamaktadır. Metal elementleri, çok çeşitli oksit bileşiklerini oluşturabilmektedir. Bunlar, metalik, yarıiletken veya izolator karakteri gösterebilen elektronik bir yapıya sahip çok sayıda yapısal geometriyi benimser. Teknolojik uygulamalarda oksitler; sensörlerin, mikroelettronik devrelerin, yakıt hücrelerinin, piezoelektrik cihazların, yüzeylerin paslanmaya karşı pasifleştirilmesinde kullanılan kaplamalar ve katalizörlerin imalatında kullanılır (Gürmen ve Ebin 2010).

Gelişmekte olan nanoteknoloji alanındaki amaç; yığın halinde veya tek parçacık türlerine göre üstün özelliklere sahip nanoyapılar veya nanodiziler yapmaktır. Oksit nanoparçacıklar, sınırlı boyutu ve yüksek köşe veya kenar yüzeyi alanlarından dolayı eşsiz fiziksel ve kimyasal özellikler sergileyebilir. Parçacık boyutunun, herhangi bir materyaldeki temel özelliklerin üç önemli grubunu etkilemesi beklenmektedir. Birincisi, kafes simetri ve hücre parametrelerinin yapısal özelliklerini içerir. Dökme oksitler

genellikle iyi tanımlanmış kristal yapılar ile sağlam ve istikrarlı sistemlerdir. Bunun yanı sıra, parçacık boyutunun azaltılması ile birlikte yüzey serbest enerjisinin ve stresin giderek artan önemi göz önüne alınmalıdır. İkincisi, termodinamik istikrarın boyutu ile ilişkili olan değişiklikler, hücre parametrelerinin ve/veya yapısal dönüşümlerin modifikasyonunu indükleyebilir ve aşırı durumlarda, nanoparçacık onunla olan etkileşimler nedeniyle kaybolabilir. Üçüncüsü, mekanik veya yapısal kararlılığı göstermek için, bir nanopartikülün yüzey serbest enerjisi düşük olmalıdır. Bu gerekliliğin bir sonucu olarak, dökme malzemelerde düşük kararlılığa sahip fazlar, nanoyapılarda çok kararlı hale gelebilir (Carrell *et al.* 2014).

2.2.1. ZnO

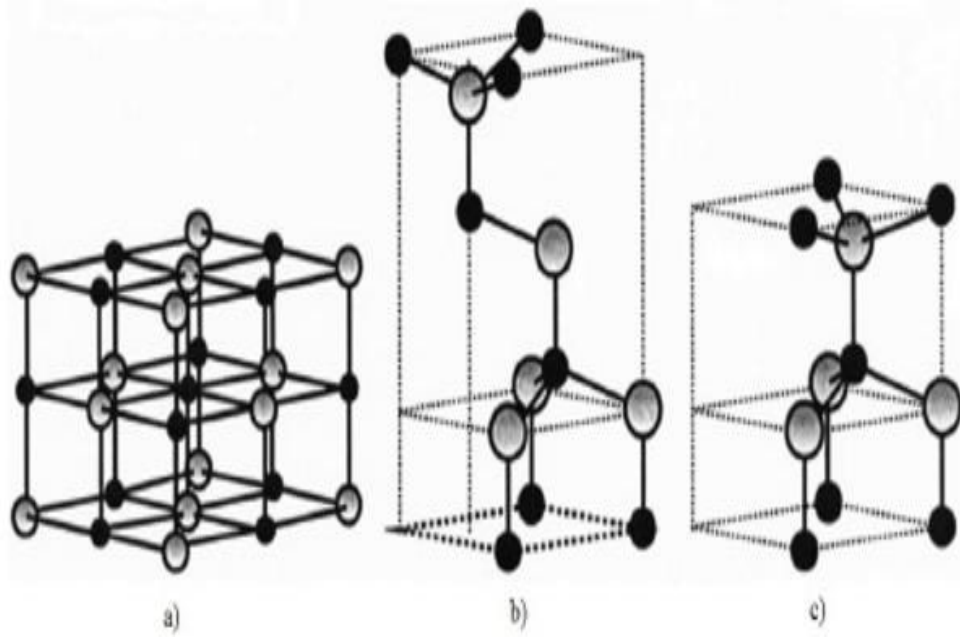
ZnO, genellikle suda neredeyse çözünmeyen beyaz bir toz halinde görünür. Toz, plastik, seramik, cam, çimento, kauçuk (örneğin araba lastikleri), yağlayıcılar, boyalar, merhemler, yapıştırıcılar, sızdırmazlık maddeleri, pigmentler, gıdalar (Zn besin kaynağı), piller dâhil olmak üzere sayısız malzeme ve ürüne katkı amacıyla yaygın olarak kullanılmaktadır. ZnO yer kabuğunda bir mineral olarak bulunur. Bununla birlikte, ticari olarak kullanılan çoğu ZnO sentetik olarak üretilir (Özgür *vd.* 2005).

Malzeme biliminde, ZnO'ya genellikle II-VI yarıiletken adı verilir, çünkü çinko ve oksijen, sırasıyla periyodik tablonun 2. ve 6. gruplarına aittir. Bu yarıiletken, elektronik de kullanım için, iyi şeffaflık, yüksek elektron hareketliliği, geniş bant aralığı, güçlü oda sıcaklığı ışıldaması, gibi birçok uygun özelliğe sahiptir. ZnO'nin ince film, transistör ve ışık yayan diyot (LED) olarak kullanımı ise 2009'dan itibaren başlamıştır (Kuran 2016). Çizelge 2.1'de Hekzagonal ZnO'nin ana fiziksel özellikleri belirtilmiştir.

Çizelge 2.1. Hekzagonal ZnO'in ana fiziksel özellikleri (Streiner et al. 2004).

Örgü sabitleri a_0, c_0 (T = 300 K)	0,32469 nm, 0,52069 nm
Yoğunluk	5,606 g/cm ³
Ergime noktası	2248 K
Dielektrik sabiti	8,66
Enerji boşluğu	3,37 eV
Taşıyıcı konsantrasyonu	<10 ⁶ cm ⁻³
Uyarım (aktivasyon) enerjisi	60 meV
Etkin elektron kütlesi	0,24
Elektron hareketliliği (T = 300 K)	200 cm ² /V.s
Etkin boşluk kütlesi	0,59
Boşluk hareketliliği (T = 300 K)	5 – 50 cm ² /V.s

II ve VI grubu ikili bileşik yarıiletkenlerin, ya kübik çinko sülfür ya da her anyonun bir tetrahedron'un köşesindeki dört katyon tarafından çevrilen hekzagonal würtzit yapıda kristalize olduğu bilinmektedir. Tetrahedral koordinasyok kovalent bağlı sp³'tür, fakat bu malzemeler aynı zamanda önemli bir iyonik karaktere sahiptir. Şekil 2.4'te ZnO'in kristal yapıları belirtilmiştir. ZnO'in 300 K'deki örgü parametreleri $a = 0,32495$ nm ve $c = 0,52069$ nm'dir. a/c oranına bakıldığında ZnO 1,602'lik oran ile ideal sıkı paket hekzagonal yapısına (1,633) yakındır.



Şekil 2.4. a) kübik kayatuzu, (b) kübik çinko sülfür, (c) hekzagonal wurtzite yapı (Özgür vd. 2005).

2.2.1.a. Elektriksel Özellikleri

ZnO yapılarının elektriksel özellikleri, gelecek yıllarda nanoelektronik alanındaki uygulamalar için son derece önem arz etmektedir. Elektriksel geçirgenlik (permittivity) ZnO'nun fiziksel yapısına bağlı olarak; örneğin, nanotel, nanoçubuk olmasına göre, değişiklikler göstermektedir. Yani ZnO elektriksel anlamda yalıtkanlıktan iletkenliğe kadar birçok farklı özellikler gösterebilen kimyasal bir malzemedir (Özöğüt 2013).

ZnO'nun doğrusal olmayan akım-voltaj (I-V) özelliği ilk kez Matsuoka tarafından 1968 yılında keşfedilmiştir. Bu özellik değişen voltaj değeri karşısında oluşan akım değerinin, yani malzemenin direncinin değişmesi olarak açıklanmıştır. Varistör etkisi olarak isimlendirilen bu özelliğin keşfedilmesi ile günümüzde elektronik devreler, voltaj değişimlerine karşı ZnO varistörler sayesinde korunmaktadır (Fan *et al.* 2005).

2.2.1.b. Optik Özellikleri

ZnO'nin, 3,37 eV'luk bir bant aralığına ve 60 meV gibi GaN (25 meV) ile karşılaştırıldığında çok daha yüksek uyarım (aktivasyon) enerjisine sahip olduğu tespit edilmiştir. Bu sebeple ZnO, az enerji harcanarak etkili bir emisyon değeri elde edilebilmesi nedeniyle, mavi-morötesi ışık aralığında kullanılan fotonik malzemeler arasında önemli bir yere sahiptir. Ayrıca bant aralığı nedeniyle güneşten gelen morötesi ışınlarını emmede de çok uygun malzemelerden biridir. ZnO'nin bir diğer optik özelliği ise yüksek kırınım indisidir ($\sim 2,0$). Elmaştan sonra gelen en yüksek kırınım indisi ($\sim 2,41$) nedeniyle beyazlaştırıcı pigmentler ve kozmetik uygulamalarda, morötesi koruyucular içerisinde etkin bir kullanım alanı bulunmaktadır (Wang 2004).

2.3. İnce Film Sentezleme Yöntemleri

Teknolojik uygulamalar içerisinde optik ince filmler, önemli ince film kaplama alanlarından biridir. Optik kaplamalar neredeyse bütün optik sistemler içinde ışıkla etkileşen tüm yüzeylerde karşımıza çıkmaktadır. Kamera lenslerinde kullanılan yansıtmasız kaplamalar, geniş bant ve dar bant yansıtmasız kaplamalar, güneş hücrelerinde kullanılan yansıtmasız kaplamalar, dielektrik aynalar, lazerler için kullanılan tam yansıtan aynalar, kısa ve uzun dalga boyu geçiren filtreler, optik telekomünikasyonda kullanılan filtreler yaygın olarak kullanılan optik kaplamaların uygulama alanları arasında gösterilebilir.

Günümüz teknolojilerinde yaygın olarak kullanılan malzemeler arasında özellikle cam ve diğer optik malzemeler bulunmaktadır. Bu malzemeler herhangi bir kaplama işlemine tabi tutulmadan sadece kendilerine has optik ve yapısal özellikleri ile doğrudan kullanılmaları halinde istenilen işlevleri tek başlarına karşılayamadıkları görülmüştür. İstenilen işlevin karşılanabilmesi için bu alttaşlar üzerine tek veya çok katmanlı ince film kaplamaları yapılmaktadır. Bu süreçte önemli olan kullanılan alttaşın ve üzerine yapılan kaplamanın optik ve yapısal özellikleridir. Yapılan çalışmalar sonucunda optik ve yapısal özellikleri farklı birçok madde ile çeşitli aygıt tasarımları yapılmıştır (Fahrenbruch 1977;

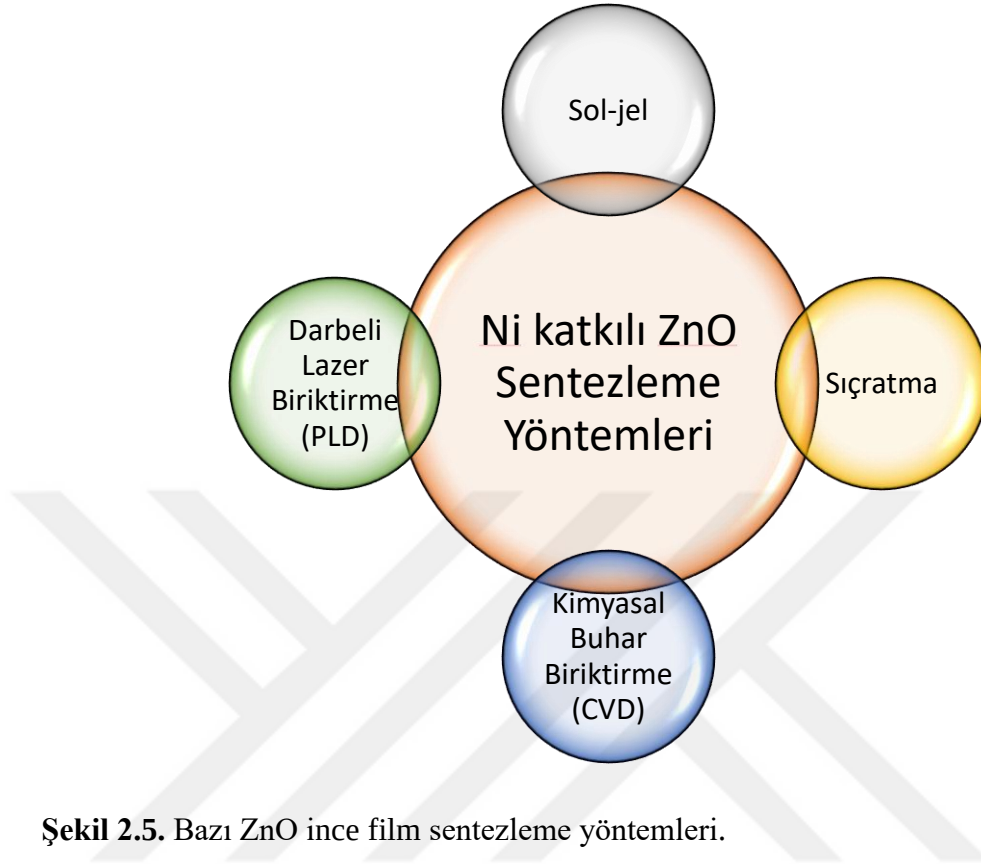
Eren 2006). Son zamanlarda yoğun bir şekilde çalışılan malzemelerden biride; yüksek kırılma indisi, yüksek ısı iletkenliği, düşük genleşme katsayısı özelliğine sahip, ZnO'dur (Çetin 2011).

İnce film sentezleme teknolojisi, son yıllarda yapılan araştırma ve geliştirme çalışmaları içerisinde önemli bir alana sahip olup sürekli artan bir ivme ile yoğun bir şekilde çalışılmakta ve elektronik cihaz teknolojisinin temelini oluşturmaktadır.

Oldukça geniş bir kullanım alanına sahip olan ince filmlerin performansı çok önemli bir parametredir. Çünkü filmlerin performansı üretim teknikleriyle doğrudan ilişkilidir. Üretim teknikleri ve üretim koşulları arasında olan bariz farklılıklar sayesinde ince filmlerde, üç boyutlu (3B) malzemelerde bulunmayan birçok özelliği meydana çıkarmaktadır. Bu özellikler, ince film malzemelere, 3 boyutlu malzemelere oranla üstün özellikler kazandırmakta ve yeni çalışmalar yapılmasına teşvik etmektedir.

Teknolojinin gelişmesiyle birlikte ince filmlerin üretilmesinde kullanılmak üzere birbirine alternatif olabilecek yeni üretim teknolojileri ortaya çıkmış ve zaman içerisinde bu teknolojiler geliştirilmiştir. Optik uygulamalar için alttaş üzerine büyütülen ince filmin şeffaflığı ve homojenliği oldukça önemli olmasının yanı sıra elektriksel uygulamalar için de pürüzsüz ve sürekli yüzeyler elde etmek oldukça önemlidir. Bu amaçla ZnO ince filmler çeşitli yöntemler ile elde edilmeye çalışılmıştır. Şekil 2.5'de bu yöntemlerin bazıları şematik olarak gösterilmiştir.

ZnO ince film oluşturmak için Sol-jel, kimyasal buhar biriktirme (CVD) ve darbeli lazer biriktirme (PLD) teknikleri gibi birçok teknik kullanılmıştır. ZnO ince film büyütmede sıçratma tekniği sunmuş olduğu birçok kolaylık ve üstünlük nedeniyle ilgi çekmektedir. ZnO filmleri hazırlama metotları arasında sıçratma tekniği; basit, ucuz ve geniş çalışma aralığında ve kalınlığın iyi derecede düzgün dağıldığı filmler oluşturabilmektedir. Pek çok araştırmacı tarafından sıçratma yöntemiyle ZnO ince film analizleri yapılmış ve yapılmaya devam etmektedir.



Şekil 2.5. Bazı ZnO ince film sentezleme yöntemleri.

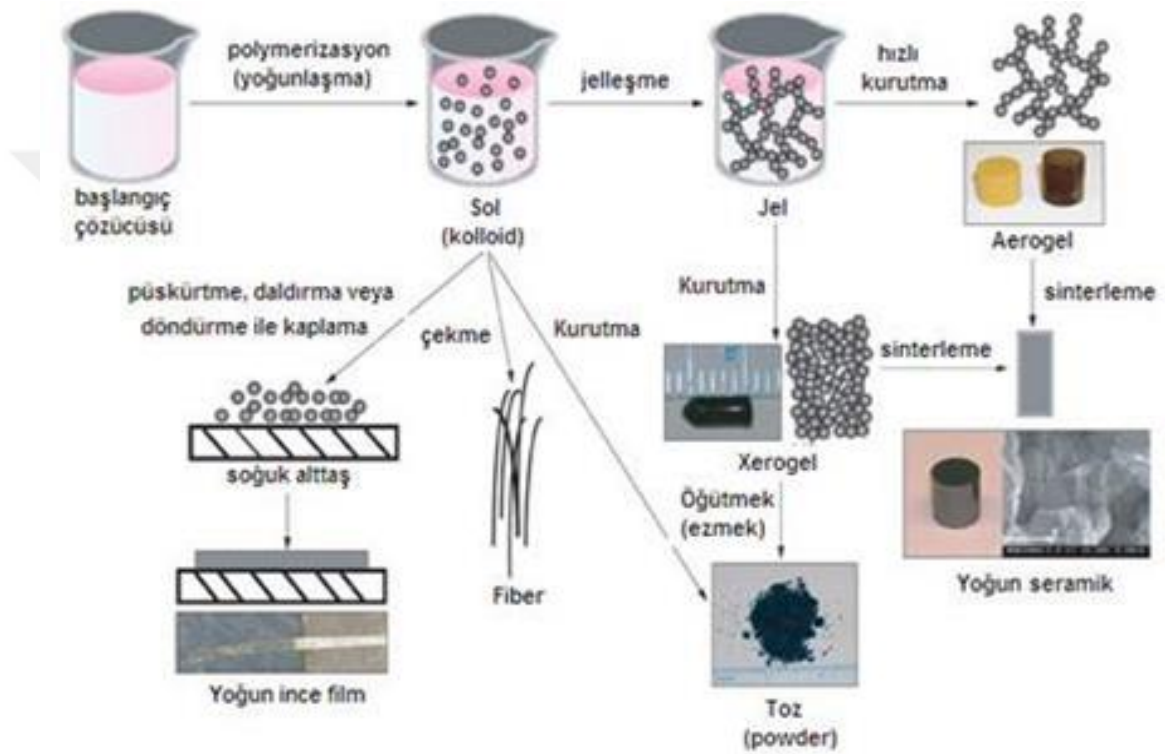
2.3.1. Sol-jel Yöntemi

Sol-jel, bir inorganik koloidal süspansiyonun (sol) oluşumunu ve solun sürekli bir sıvı fazda (jel) üç boyutlu bir ağ yapısı oluşturmak için jelleşmesini içeren ıslak - kimyasal bir işlemdir. Koloidal solların sentezlenmesi için öncüler, reaktif fonksiyonel gruplarla çevrili organometalik bileşiklerden oluşur. Alkoksisilanlar (tetrametoksisilan ve tetraetoksisilan), alüminatlar, titanatlar, zirkonatlar ve boratlar gibi metal alkoksitler, sol-jel işleminde en çok kullanılanlardır. Sol-jeller, bir ısı işleminden sonra mikro ve nano ölçekte filmler, parçacıklar, elyaflar, arojeller ve yoğun malzemeler halinde olabilir. Sol-jel ürünleri başlangıçta şekilsizdir, bu nedenle kristalli sol-jel ürünlerine uygun ısı işlemler kullanılarak ulaşılabilir (Diyarbakır 2011).

Füzyona dayalı yaklaşımdan farklı olarak sol-jel sentez yolu düşük sıcaklıklarda, tipik olarak oda sıcaklığında ya da çevresinde gerçekleştirilir. Sol-jel yöntemi laboratuvar

koşullarında iyi uygulanabilen yöntemlerden biridir ve bu yöntemin büyük ölçekli üretimler için kullanımı da giderek artmaktadır.

Sol-jel yöntemi Şekil 2.6'da da görüleceği üzere yoğunlaşma, jelleşme, hızlı kurutma, sinterleme gibi basamaktan oluşmaktadır (Evcin 2006);



Şekil 2.6. Sol-jel yöntemi basamakları (Sönmezoğlu vd. 2012).

ZnO ince filmlerin elde edilmesinde de sıklıkla kullanılan yöntemlerden biri olan sol-jel yöntemi ile katkısız ve yabancı atomlar (Ni vb.) ile katkılama yapılarak katkılı ZnO ince film elde edilmiştir. Elde edilen bu yapıların optik ve elektriksel özelliklerinin incelendiği birçok araştırma ile karşılaşmak mümkündür (Köç 2016).

2.3.2. Darbeli Lazer Biriktirme (PLD) Yöntemi

PLD, hedef materyali buharlaştırmak için birkaç nanosaniyelik yüksek enerjili lazer darbeleri kullanır. Lazer radyasyonu hedef yüzeye odaklanır, absorbe edilir ve materyali

hızlı bir şekilde buharlaştırır; bu da daha sonra alttaş üzerinde toplanan atomların ablasyonuna yol açar. Enerji kaynağı (lazer) vakum odasının dışında olduğundan, bu yöntemin ultra yüksek bir vakumda veya çok çeşitli ortam basınçları ve gaz türlerinde yapılması avantajına sahiptir. Hedef genellikle aynı nokta sürekli ablasyona uğramasın diye döndürülür (Yurtcan vd. 2011).

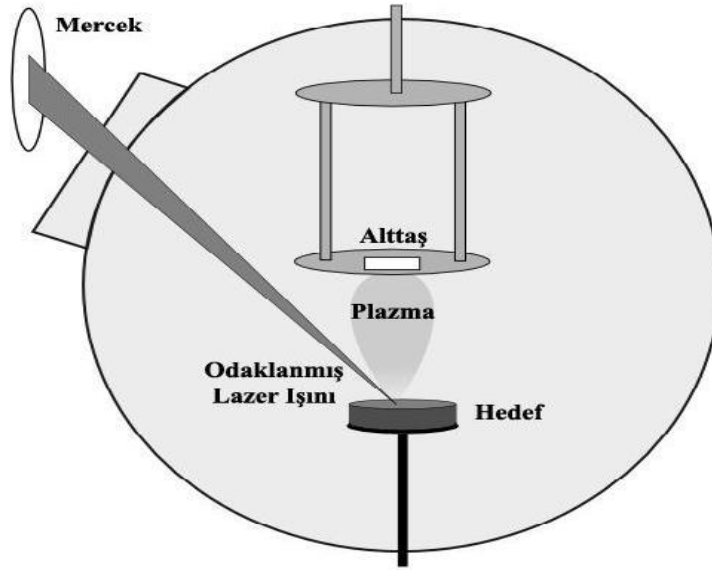
PLD'nin en büyük avantajı, hedef malzemenin stokiyometrik çıkarılmasıdır (yani, atomlar aynı kimyasal yapıda çıkarılır). Bu, ablasyon işleminin hızlı, geçici yapısından ve birkaç nanosaniye içinde çok yüksek bir yüzey sıcaklığı oluşturan yüksek lazer akıcılığından kaynaklanmaktadır. Ablasyon eşiğinden çok daha yüksek olan kısa akıcılık seviyesi darbeleri, bağlanma enerjilerine bakılmaksızın, hedefin tüm bileşenlerinin eşit şekilde boşaltılmasını sağlar. Buna karşılık, buharlaşma ve sıçratma türlerin uçuculuğunda, çıkarma oranını etkiler. Püskürtme işleminde, daha yüksek püskürtme verimine sahip malzeme daha hızlı bir şekilde çıkarılır ve buharlaştırmada, daha yüksek buhar basıncına sahip malzeme daha hızlı bir şekilde buharlaştırılır. Sonuç olarak, PLD en sık İtiryum-Baryum-Bakır-Oksit (YBCO) gibi karmaşık seramik filmlerin biriktirilmesi için kullanılır. Bununla birlikte, stokiyometrik uzaklaştırma her zaman stokiyometrik çökeltme anlamına gelmez, çünkü daha uçucu türlerin bazıları alttaşlardan sıçrayabilir veya basitçe buharlaşabilir (Proyer and Stangl 1995).

Hali hazırda kullanılan PLD sistemlerinin çoğu, KrF (248 nm), ArF (193 nm) ve F_2 (157 nm) gibi ultraviyole (UV) aralığında yayılan eksimer lazerleri kullanmaktadır. Malzemelerde kısa penetrasyon derinliği nedeniyle UV ışığı arzu edilir, bu da yüzeye en yakın atomların uzaklaştırılmasıyla sonuçlanır. Daha uzun dalga boyları, daha derin kümelenmelere yol açabilecek yüzey altı buharlaşmasına ve püskürmesine neden olarak daha derin bir penetrasyona neden olacaktır. Bununla birlikte, pratikte UV lazerlerin, vakum pencerelerinin ve diğer optik elemanların mevcudiyeti, düşük dalga boyunu yaklaşık 200 nm ile sınırlar (Yurtcan vd. 2011).

PLD ayrıca kullanıcının, Argon gibi bir inert gaz atmosferi getirerek, alttaşa gelen türlerin enerjisini ayarlamasına da izin verir. Gaz atmosferi, atılan türlerin saçılma oranını artırır

ve onları yavaşlatır. Bu teknik, film morfolojisi ve gerilmesinde değişiklikler üretmek için kullanılabilir. Ayrıca, çıkarılan türler atom kümeleri oluşturmak için birbiriyle çarpışana kadar gaz basıncını artırarak nanoparçacık birikimi oluşturmak da mümkündür. Nano parçacıkların boyutu da bu şekilde kontrol edilebilir.

Her ne kadar PLD son yıllarda önemli ölçüde gelişmiş olsa da hala birçok zorluğu vardır. Film bütünlüğü en büyük zorluklardan biridir. Ablasyon tek bir noktada gerçekleştiğinden ve plazma bulutunun dar bir açıya sahip olması nedeniyle, her darbe sırasında yalnızca küçük bir alt tabaka alanı kaplanır. Kaynak - alttaş mesafesi de kaplamada önemli bir rol oynar. Daha uzun mesafeler, az bir biriktirme oranına sahip olsa da daha düzgün bir film elde edilmesini sağlamaktır. Her ne kadar lazer ışını ve alt tabaka film homojenliğini arttırmak için sürekli olarak çevrilse de yine de buharlaşma veya sıçramaya karşı yetersiz kalır. PLD ile ilgili diğer bir zorluk, ablasyon sırasında erimiş damlacıklar nedeniyle ortaya çıkan, bazen 10 μm kadar olan daha büyük parçacıkların birikmesidir. Bunlar ayrıca fiziksel filtreler kullanılarak bir dereceye kadar hafifletilebilir. Şekil 2.7'de PLD sisteminin vakum odasının şematik görünümü bulunmaktadır (Yurtcan vd.2011).



Şekil 2.7. PLD sisteminin vakum odasının şematik diyagramı (Yurtcan vd. 2011).

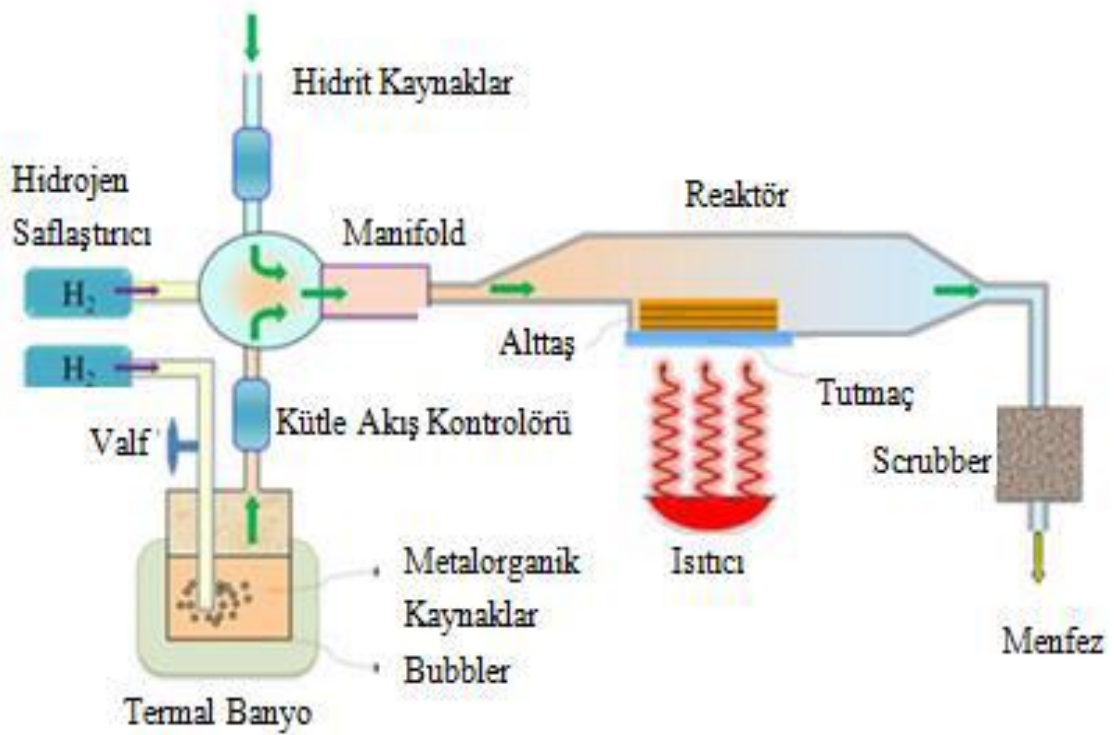
PLD sahip olduğu avantajlardan dolayı ZnO ince film elde etmek için kullanılan yöntemler arasında yer almaktadır.

2.3.3. Kimyasal Buhar Biriktirme (CVD) Yöntemi

CVD, katı bir malzemenin bir buhardan normal olarak ısıtılmış bir alttaş yüzeyi üzerinde veya yakınında meydana gelen kimyasal bir reaksiyonla biriktirildiği bir işlem türüdür. Elde edilen katı malzeme, ince bir film, toz veya tek kristal şeklindedir. Alttaş materyali, alttaş sıcaklığı ve reaksiyon gazı karışımının bileşimi, toplam basınç, gaz akışları, vb. dâhil olmak üzere deneysel koşullar değiştirilerek, çok çeşitli fiziksel ve kimyasal özelliklere sahip malzemeler üretilebilir. CVD tekniğinin karakteristik bir özelliği, düzgün şekilli kaplamaların ve karmaşık şekilli alt tabakalarda bile düşük gözenekli özelliklere sahip kaplamaların üretilmesini sağlayan mükemmel fırlatma gücüdür. Bir diğer önemli özelliği ise desenli yüzeylerde lokalize veya seçici biriktirme özelliğidir (Erbaş 2009).

CVD ve ilgili işlemler, dielektrikler, iletkenler, pasivasyon tabakaları, oksidasyon bariyerleri, iletken oksitler, tribolojik ve korozyona dayanıklı kaplamalar, ısıya dayanıklı kaplamalar ve mikroelektronik için epitaksiyel tabakalar dâhil olmak üzere birçok ince film uygulamasında kullanılır (Erbaş 2009). Diğer CVD uygulamaları, yüksek sıcaklıktaki malzemelerin (tungsten, seramik, vb.) hazırlanması ve güneş hücrelerinin, yüksek sıcaklıktaki elyaf kompozitlerinin ve iyi tanımlanmış büyüklükteki parçacıkların üretilmesidir. Son zamanlarda, yüksek T_c süperiletkenleri ve daha yakın zamanda karbon nanotüpleri (CNT) de bu teknikle üretilmiştir. Buhardaki oksijen aktivitesi biriktirme sırasında tam olarak kontrol edilebildiğinden, süperiletkenliği sağlamak için oksijende tavlamaya gerek yoktur (Erbaş 2009).

Termal olarak aktive edilmiş CVD'de (TACVD), biriktirme, ısı ile başlatılır ve korunur. Bununla birlikte, fotonlar, elektronlar, iyonlar ve bunların bir kombinasyonu, CVD reaksiyonlarını indükleyebilir ve koruyabilir. Şekil 2.8'de CVD sistemi şematik diyagramı belirtilmiştir.

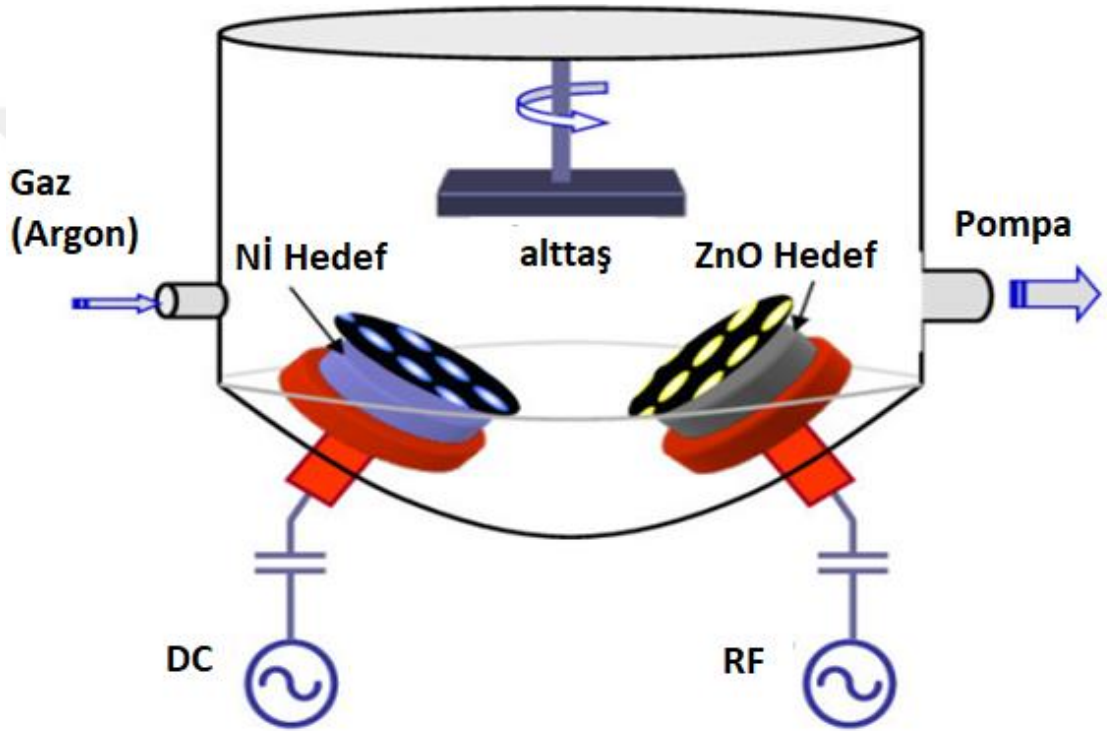


Şekil 2.8. CVD sistemi şematik diyagramı (Sönmezoğlu vd. 2012)

2.3.4. Sıçratma Yöntemi

Sıçratma, ince filmlerin alttaşlara biriktirilmesi için yaygın olarak kullanılan bir tekniktir. Teknik, bir kaynak materyalin, iyon bombardımanına dayanır. İyon bombardımanı, tamamen fiziksel bir işlemdir, yani hedef malzemenin sıçraması nedeniyle bir buharla sonuçlanır. Bu teknik, termal buharlaşma ve darbeli lazer biriktirme içeren fiziksel buhar biriktirme teknikleri sınıfının bir parçasıdır. İnce filmlerin püskürtme yoluyla biriktirilmesi için en yaygın yaklaşım, manyetik olarak arttırılmış bir ışımaya deşarjının plazmasında bulunan pozitif iyonların hedefi bombaladığı bir magnetron kaynağının kullanılmasıdır. Sıçratma işlemi tamamen fiziksel bir işlem olduğu için plazmaya reaktif bir gaz eklenmesiyle reaktif püskürtme olarak da kullanılabilir (Köç 2016).

İki çeşit sıçratma yöntemi kullanılmaktadır. DC sıçratma yönteminde anot ve katot arasına doğru akım uygulanarak metalik yüzeyler bombardıman edilirken, yalıtkan yüzeylerde çoğunlukla radyo frekans magnetron sıçratma yöntemi tercih edilir. DC sıçratma ve RF magnetron sıçratma yöntemi ile yapılan ZnO ince film oluşturma çalışmaları günümüzde yaygınca yürütülen çalışmalar arasındadır (Fan *et al.* 2016; Kumar 2016). Şekil 2.9'da sıçratma sisteminin şematik diyagramı bulunmaktadır.



Şekil 2.9. Sıçratma sistemi şematik diyagramı (Joung *et al.* 2012).

2.4. Kaynak Özetleri

İnce filmle ilgili olarak, yapılan çalışmaların çoğunda, katkılı ve katkısız ZnO ince filmler değişik araştırmacılar tarafından Darbeli Lazer Biriktirme, Kimyasal Buhar Depolama, RF sıçratma, Spin Kaplama, Dip Kaplama, Spray Pyrolysis, Sol-jel gibi çeşitli metotlar kullanılarak büyütüldüğü ve bu metotlar arasında RF sıçratma tekniğinin çok tercih edilen metotlardan birisi olduğu literatür taramasında görülmüştür. Buna ek olarak RF sıçratma tekniğinin; kaynak materyalin minimum firesi, yüksek büyütme oranı, geniş kullanım alanına sahip olma gibi avantajları olduğu vurgulanmıştır (Tatar 2015).

Mass *et al.* (2003) yılındaki çalışmalarında darbeli lazer biriktirme tekniği ile hazırlanan Al:ZnO ince filmlerin yapısal, kimyasal ve elektriksel özellikleri incelenmiştir. Sentezlenen ince filmlerin XRD ölçümleri sonucunda tercihli yönelimin c eksenine olduğu tespit edilmiştir. Elde edilen ince filmler %80 saydamlıktadır. XPS analizleri sonucunda ise filmlerde hidroksitlerin bulunduğu tespit edilmiştir. SEM ölçümleri ile Al katkılama sonucunda elde edilen numunenin yüzeyinin pürüzsüzleştiği ve direncinin arttığı belirlenmiştir. UV ölçümleri sonucunda ise Al katkılama sonucunda numunenin bant aralığının arttığı gözlemlenmiştir, bant aralığının artışına Burstein – Moss kayması ve filmlerdeki stres neden olmuştur (Mass *et al.* 2003).

Suchea *et al.* (2006) senesinde yaptıkları çalışmalarında, DC magnetron sıçratma kullanarak saf ve Al:ZnO ince filmler büyütmüşlerdir. Elde edilen ince filmlerin yüzey topolojisi, kristallik ve optik iletim üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Yapılan incelemelerle katkılı filmlerin, katkısız filmlerden farklı yüzey morfolojisine sahip olduğu tespit edilmiştir. X-ışını kırınımı ölçümleri sonucunda tercihli yönelimin her zaman (002) olduğu gösterilmiştir. Elde edilen en önemli sonuç, Al katkılımanın, elde edilen numunenin optik iletim ve enerji boşluğunda (E_g) büyük bir artışa yol açmasıdır (Suchea *et al.* 2006).

Li *et al.* (2007) yılında yaptıkları bir çalışmada magnetron cosputtering yöntemiyle Ni:ZnO ince filmleri çeşitli alttaş sıcaklıklarında sentezlemişlerdir. Çalışma sırasında ince

filmlerin yapısal, elektriksel ve optik özellikleri araştırılmıştır. XRD ölçümleri sonucunda, tüm ince filmlerin hegzagonal würtzite yapısına sahip olduğu ve tercihli yönelimin c eksenine olduğu ortaya konulmuştur. Alttaş sıcaklığı ince filmlerin morfolojik özelliklerini de önemli ölçüde etkilemiş, 300 K ve 673 K’de büyütülen ince filmlerin görünür parçacıklardan oluştuğu, 400 K’de elde edilen ince filmlerin ise sütun şeklinde olduğu tespit edilmiştir. Ni:ZnO ince filmlerin elektriksel iletkenliğinin 473 K’de en düşük olduğu belirlenmiştir. Bununla beraber tüm ince filmlerin görünür bölgede %90’nın üzerinde optik geçirgenliğe sahip olduğu tespit edilmiştir (Li *et al.* 2007).

Pandey *et al.* (2008) yılında yürütülen çalışmada, Ni:ZnO ince filmler hızlı atom demeti (FAB) püskürtme yöntemi ile elde edilmiştir. Gerçekleştirilen çalışmada hem katkısız hem de katkılı ince filmlerde, Ni varlığının filmleri nasıl etkilediği belirlenmeye çalışılmıştır. Çalışma sırasında, elde edilen ince filmlerin yapısal, elektriksel ve optik özellikleri incelenmiştir. Enerji dağılımlı X-ray (EDX) incelemesi sonucunda filmlerde ki Ni katkı oranının ~%12 olduğu tespit edilmiştir. Ni katkılı ince filmlerin öz direnci katkısız filmlere oranla yaklaşık 2 kat daha küçük bulunmuştur. Katkılama arttıkça iletkenliğinde arttığı tespit edilmiştir. Ni katkılı filmlerin, katkısız filmlere oranla daha şeffaf olduğu belirlenmiştir (Pandey *et al.* 2008).

Ghosh *et al.* (2008) yılında yapılan çalışmada, atom ışını sıçratma (atom beam sputtering) yöntemi ile ZnO ve Ni:ZnO ince filmler sentezlenmiş ve oluşturulan ince filmlerin fiziksel özelliklerini anlama amacıyla incelemeler yapılmıştır. Filmlerin kristal fazlarının tespiti için X-ışını difraksiyonu tekniği kullanılmıştır. Filmlerin kalınlıkları elipsometri ile ölçülmüştür. X ışını foto elektron spektroskopisi (XPS) ölçümleri ile filmlerdeki ZnO ve Ni varlığı ispat edilmiştir. Katkılı ince filmlerin ortalama optik iletimi, görünür bölgede ~%83 olarak tespit edilmiş, buda katkısız filmlerinkinden (~%90) daha azdır. Van der Pauw tekniği ile ölçülen öz dirençler karşılaştırıldığında katkılı ince filmlerin öz dirençlerinin, katkısız ince filmlere oranla iki kat daha küçük olduğu belirlenmiş ve Ni katkılama arttıkça filmlerdeki iletkenliğinde arttığı tespit edilmiştir (Ghosh *et al.* 2008).

Ilıcan vd (2008) yılında sürdürülen çalışmada, sol-jel spin kaplama yöntemi ile ZnO ince filmler cam alttaşlar üzerine büyütülmüştür. Yapılan çalışmada biriktirme parametrelerinin ZnO ince filmlerinin yapısal, optik ve elektriksel özellikleri üzerindeki etkisi araştırılmıştır. ZnO ince filmlerinin kristal yapısı ve yönelimi, XRD desenleriyle incelenmiştir. Filmlerin tane büyüklüğü ise, Scherrer formülü kullanılarak hesaplanmıştır. Optik absorpsiyon ve geçirgenlik ölçümleri, 190-900 nm dalga boyu aralığında entegre bir küreye sahip çift ışınli bir spektrofotometre kullanılarak yapılmıştır. Optik absorpsiyon çalışmaları, geçişin doğrudan bant aralığı enerjisi olduğunu ortaya koymaktadır. ZnO ince filmlerinin I-V çizimleri karanlıkta ve UV ışığı altında yapılmıştır. Yapılan incelemeler ve araştırmalar sonucunda elde edilen ZnO ince filmlerin fotovoltaiik bir malzeme olarak kullanılabileceği ortaya konulmuştur (Ilıcan vd. 2008).

Keskenler vd (2012) senesinde yapılan çalışmada, sol-jel döndürmeli kaplama yöntemi ile F:ZnO şeffaf iletken ince filmler sentezlemiştir. Çözelti materyali olarak çinko asetat ve amonyum florür kullanılmıştır. Çalışma sırasında elde edilen ince filmlerin mikro yapısal, morfolojik ve optik özellikleri incelenmiştir. XRD yöntemi ile filmlerin altıgen wurtzite yapıya sahip olduğu ve tercihli yönelimlerinin c (002) eksenini olduğu tespit edilmiştir. Elde edilen ince filmlerin tane büyüklüğü 15 ila 18 nm arasında değiştiği belirlenmiş olup, filmlerin SEM görüntülerinden pürüzsüz bir yüzey ve homojen taneciklere sahip olarak iyi kristalleşme olduğu belirlenmiştir. UV ölçümleri sonucunda, tüm görünür dalga boyu bölgesindeki ortalama optik geçirgenliğin, tüm F:ZnO filmler için %95'ten büyük olduğu tespit edilmiştir. Bant aralığı enerji değerleri, katkısız ZnO, %0,5, %1,5 ve %3,5 mol F:ZnO numuneleri için sırasıyla 3,270 eV, 3,291 eV, 3,293 eV ve 3,287 eV olarak belirlenmiştir. Bant aralığı değerleri katkılanma ile artmıştır. Bu sonuçlar F:ZnO ince filmlerini şeffaf malzeme uygulamaları için tercih edilebilir bir malzeme haline getirmiştir (Keskenler vd. 2012).

Keskenler vd (2012) tarafından yapılan diğer bir çalışmada, sol-jel spin kaplama tekniği ile cam alttaşlar üzerine ZnO ve Mn:ZnO filmler sentezlenmiştir. Çalışmada Mn katkılamanın elde edilen ince filmler üzerinde ki yapısal, morfolojik ve optik özelliklere etkileri araştırılmıştır. XRD sonuçları, filmlerin polikristal yapıli wurtzite yapıya sahip

olduğunu göstermektedir. Bununla birlikte, tercihli yönelim tüm numuneler için c eksen (002) olarak tespit edilmiştir. Katkısız ZnO için (100), (101), (102), (110), (103), (112) ve (004) gibi daha az yoğunluğa sahip başka kırınım pikleri de gözlemlenmiştir. Katkılı ince filmlerinin kafes parametre değerleri, katkısız filmlerden daha düşüktür. Artan katkılama yüzdesi ile tane boyutlarında bir düşüş gözlemlenmiştir. 405 nm dalga boyunda yapılan ölçüm sırasında optik iletim değerinin katkılamanın artmasıyla azaldığı tespit edilmiştir. Katkılama ile optik bant aralığı değerleri 3,287'den 3,270 eV'ye düşürülmüş ve numune yüzeyi daha pürüzsüz hale getirilmiştir. Yapılan ölçümlerde katkılama ile Urbach enerji değerlerinin arttığı tespit edilmiştir (Keskenler vd. 2012).

Mondal ve Mitra (2013) yılında yürütülen çalışmalarında, ardışık iyon katmanı adsorpsiyonu ve reaksiyonu (SILAR) kullanılarak saf ve Ni:ZnO ince filmler amonyum zinkat banyosunda cam alttaşlar üzerinde sentezlenmiştir. Ni katkılamanın ince filmlerin mikro yapısı üzerindeki etkisini araştırmak için XRD, TEM, SEM ve EDX gibi karakterizasyon teknikleri kullanılmıştır. X-ışını kırınımı ile filmlerin polikristal yapısını araştırılmıştır. Parçacık büyüklüğünün artan Ni katkılama ile hafifçe azalan bir eğilim gösterdiği belirlenmiştir. Ortalama parçacık boyutu, saf ZnO için 22,75 nm ve %10 Ni katkılı ZnO için 20,51 nm olarak ölçülmüştür. İnce filmlerde ki Ni varlığı EDX kullanılarak kanıtlanmıştır. Temel absorpsiyon değeri saf ZnO için 3,23 eV ve %10 Ni:ZnO için 3,19 eV olarak ölçülmüştür (Mondal and Mitra 2013).

Siddheswaran ve arkadaşları (2014) yapılan çalışmada, reaktif magnetron püskürtme yöntemi kullanılarak Ni:ZnO ince filmler 400°C'de silikon alttaşlar üzerine Ar ve O₂ gaz karışımı kullanılarak sentezlenmiştir. XRD ölçümleri ile elde edilen ince filmlerin tercihli yönelimlerinin, alttaşlar yüzeyine dik olarak yöneldiği belirlenmiştir. FE-SEM kullanılarak ince film yüzeylerinin tane büyüklüğü, dağılımı ve homojenliği incelenmiştir. EDX analizi ile ince filmler içerisinde ki Ni varlığı doğrulanmıştır. TEM ve RTEM analizleri ile filmlerin ortalama kalınlığı ve uzunluğu sırasıyla yaklaşık 50 nm ve 600 nm olarak ölçülmüştür (Siddheswaran *et al.* 2014).

Yumak ve arkadaşları (2015) tarafından yılında yapılan çalışmada, sol-jel spin kaplama tekniği ile Sc:ZnO ince filmler hazırlanmıştır ve ince filmlerin morfolojik, yapısal ve optik özellikleri incelenmiştir. XRD analizi ile Sc:ZnO filmleri için tercihli yönelimin c eksenine (002) olduğu ve ince filmlerin würtzite yapıya sahip oldukları tespit edilmiştir. Bunun yanında Sc katkısının, kristallikte azalmaya neden olduğu belirlenmiştir. Katkılama ile optik bant aralığı değerinde azalma, Urbach enerjisi değerinde ise artış tespit edilmiştir (Yumak vd. 2015).

Liu ve arkadaşları (2018) tarafından sürdürülen çalışmada, magnetron sıçratma yöntemi ile bakır ve nitrojenle karıştırılan ZnO filmler hazırlanmıştır. Çalışmada codoping'in ZnO filmlerin yapısal ve optik özellikleri üzerindeki etkileri incelenmiştir. Yapılan araştırmalar katkılamanın optimal yönlendirmeyi etkilemediğini göstermektedir. Katkılamanın tane boyutunu büyütebildiği, kristallliği arttırdığı, stresi azalttığı ve daha yoğun, pürüzsüz bir yüzey oluşturduğu belirlenmiştir. Katkılamanın ZnO filmlerin mikro yapısını ve optik özelliklerini daha geniş bir aralıkta modüle edebildiği tespit edilmiştir. (Liu *et al.* 2018)

3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Materyal

3.1.1. Sarf Malzemeler

Deneylerde alttaş malzeme olarak ISOLAB firmasına ait 15x15x1 cm boyutlarında optik cam, hedef malzeme olarak Sigma-Aldrich marka %99,99 saflıkta ZnO ve Sigma-Aldrich marka %99,99 saflıkta Ni, temizlik malzemesi olarak ise etanol, propanol ve saf su kullanılmıştır.

3.1.2. Kullanılan Cam Alttaşların Temizlenmesi

İnce film sentezleme için kullanılan cam alttaş malzemeler, temizlenme aşamasından önce 1,5x1,5 cm ebatlarında elmas kalem ile dilimlenmiştir. Daha sonra elde edilen camlar ultrasonik temizleyicide sırası ile 8 dakika saf suda, 15 dakika etanolde, 15 dakika propanolde ve son olarak 10 dakika tekrar saf suda temizlenmiştir. Temizleme işlemi tamamlanan bu cam alttaşlar, büyütme işleminde kullanılmadan önce kurutma işlemi için bir saat boyunca etüv içerisinde bekletilerek hazır hale getirilmiştir (Tatar 2015).

3.2. Yöntem

3.2.1. Sıçratma Metodu ile İnce Filmlerin Elde Edilmesi

Çalışmada, sıçratma tekniği yardımı ile katkısız ve Ni:ZnO ince filmler cam alttaşlar üzerine sentezlenmiştir. Bu yöntemle sentezleme, Atatürk Üniversitesi merkez kampüsünde bulunan Doğu Anadolu Yüksek Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi (DAYTAM)'ın, temiz odasında bulunan sıçratma sisteminde gerçekleştirilmiştir.

Öncelikle etanol, propanol ve saf su ile temizlenmiş alttaşlar, RF magnetron sıçratma sisteminin alttaş tutucu bölmelerine yerleştirilmiştir. Daha sonra sistemin vakum odasına, ZnO ve Ni hedefleri, hedef malzeme tutucu bölmesine yerleştirilmiş ve iletkenlikleri kontrol edilmiştir. Sistem içerisinde yabancı atom ve moleküller kalmaması için yüksek vakumla genel temizlik yapılmıştır. Bir vakum pompası yardımıyla, sistemin taban basıncı 4×10^{-6} Torr'a düşürülmüştür. Bu basınç değerinde, hassas valf yardımı ile argon gazı gönderilerek plazma oluşturulmuş ve cam alttaşların yüzey temizliği argon plazması ile yapılmıştır. Bu işlem birkaç kez, 5 dakikalık periyotlarla tekrarlanmıştır. Daha sonra, kütle akış kontrolcülerinden 100 sccm akış hızına ayarlanmış argon gazı, vakum odasına gönderilmiştir. Ni hedefinin DC gücü sırasıyla 20 W, 30 W ve 40 W olarak ve ZnO hedefi için RF gücü 150 W olarak ayarlanmıştır. Vakum odasının basıncı, 480 mTorr, alttaş sıcaklığı ise 450 °C olarak ayarlanmıştır. Kullanılan deney parametreleri Çizelge 3.1'de verilmektedir. Belirlenen şartlar altında kaplama süresi 30 dakika olarak seçilmiştir.

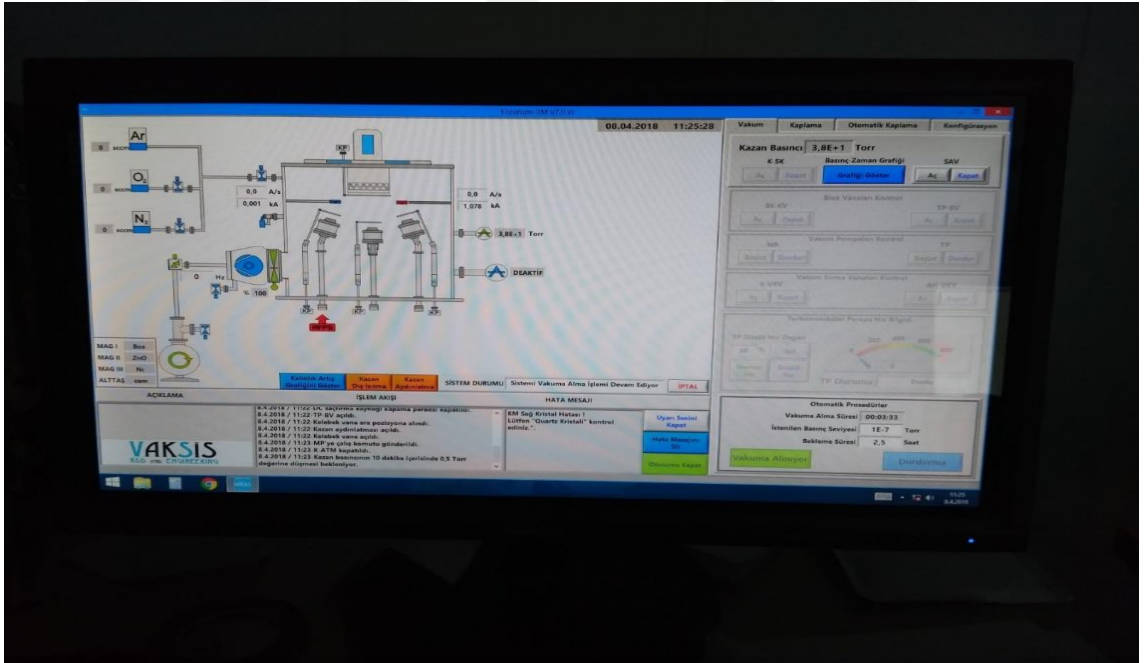
Çizelge 3.1. Deney parametreleri.

Numune Adı	Büyütme Basıncı	Taban Basıncı	Sıcaklık	RF - ZnO	DC - Ni
Saf ZnO	$3,6 \times 10^{-2}$ Torr	4×10^{-6} Torr	450 °C	150 W	-
%0,16 Ni:ZnO	$3,6 \times 10^{-2}$ Torr	4×10^{-6} Torr	450 °C	150 W	20 W
%0,20 Ni:ZnO	$3,6 \times 10^{-2}$ Torr	4×10^{-6} Torr	450 °C	150 W	30 W
%0,24 Ni:ZnO	$3,6 \times 10^{-2}$ Torr	4×10^{-6} Torr	450 °C	150 W	40 W

Her kaplama için deneyler tekrarlanmış ve her örnek için en az beş deneme yapılmıştır. Büyütme işlemi tamamlandıktan sonra vakum odası basıncının atmosfer basıncına gelmesi ve vakum odası soğuması beklenmiş daha sonra kaplama yapılan alttaşlar cihazdan çıkarılmıştır. İnce filmlerin hazırlanması için kullanılan Vaksis marka RF magnetron sıçratma cihazı Şekil 3.1'de, programlama arayüzü ise Şekil 3.2'de gösterilmektedir.



Şekil 3.1. RF Magnetron sıçratma cihazı görüntüsü



Şekil 3.2. RF Magnetron sıçratma arayüzü.

Kaplama öncesi cam alttaşların ve alttaş tutucunun görüntüsü Şekil 3.3'te verilmiştir.



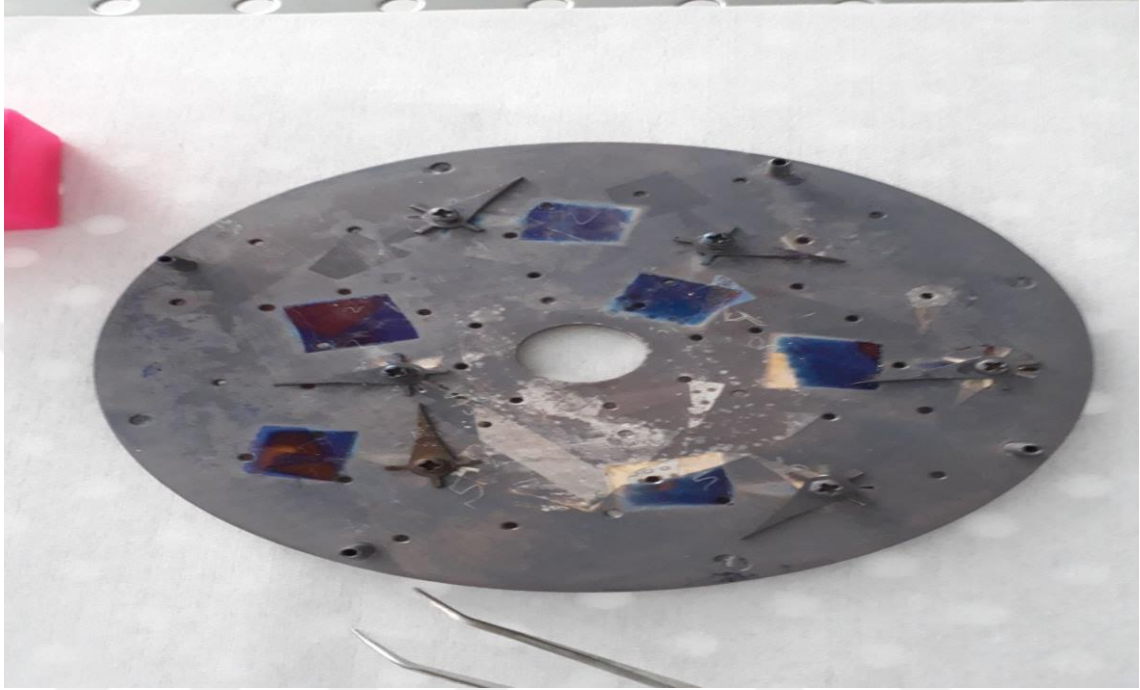
Şekil 3.3. Kaplama öncesi cam alttaşların görüntüsü.

Kaplama sonrası cam alttaşların ve alttaş tutucunun görüntüsü ise Şekil 3.4'te verilmiştir.



Şekil 3.4. Kaplama sonrası cam alttaşların görüntüsü.

Alttaş tutucunun, kaplama yapılan alttaşlar alındıktan sonraki görüntüsü ise Şekil 3.5'te verilmiştir.



Şekil 3.5. Kaplama sonrası alttaş tutucunun görüntüsü.

3.2.2. Kullanılan Analiz Yöntemleri

3.2.2.a. X-Işını Difraktometresi (XRD)

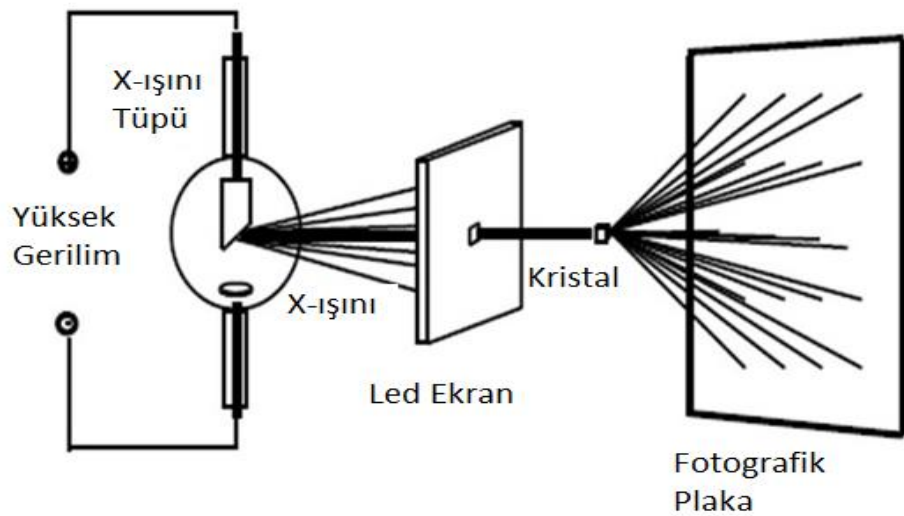
XRD, kristal malzemelerin karakterizasyonu için kullanılan güçlü ve tahribatsız bir tekniktir. Yapılar, fazlar, tercih edilen kristal yönelimleri (doku) ve ortalama tanecik boyutu, kristallik, zorlanma ve kristal kusurları gibi diğer yapısal parametreler hakkında bilgi sağlar. XRD ile periyodik cetvelde atom numaraları düşük elementler hariç çok sayıda elementin analizleri yapılabilir. X-ışını kırınım pikleri, bir numunedeki her kafes düzlemi kümesinden belirli açılarda yayılan monokromatik bir X-ışını ışınının yapıcı etkileşimi ile üretilir. Sonuç olarak, X ışını kırınım modeli, belirli bir malzemedeki periyodik atomik düzenlemelerin parmak izidir (Kasapoğlu 2014).

Şekil 3.6'da X-ışını difraktometresinin şematik diyagramı bulunmaktadır. Diğer analiz yöntemlerine göre, birçok üstünlükleri bulunmaktadır (Misture and Snyder 2001). Bunlar;

- Bir numuneyi, kendisini oluşturan elementler cinsinden değil, örnek içinde gerçekte bulunduğu şekilde açıklamasıdır.
- Kullanımı kolaydır.
- Hızlı bir yöntemdir.
- Çok düşük oranındaki miktarların doğru analiz yapılabilir.
- Yüksek hassasiyetle çalışabilir.
- İncelenecek örneklerde boyut, ağırlık, şekil çeşitliliğine izin verir.

Bu avantajlarının yanında bazı dezavantajları da bulunmaktadır (Misture and Snyder 2001). Bunlar;

- Elektron ile karşılaştırıldığında kırınımlı X-ışınlarının yoğunluğu düşüktür.
- Kristaller ve sadece tek bir konformasyon / bağlanma durumu ile ilgili sonuçları elde edebilme yeteneği sınırlıdır.



Şekil 3.6. XRD şematik diyagramı (Das et al. 2014).

İnce filmlerin X-ışını kırınım desenleri için Atatürk Üniversitesi, Doğu Anadolu Yüksek Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi (DAYTAM) laboratuvarlarında bulunan PANalytical Empyrean XRD sistemi kullanılmıştır, XRD ölçümleri oda sıcaklığında Cu-K α katot kullanılarak yapılmıştır. Ölçümleri elde etmek için kullanılan ışının dalga boyu 1,54 Å'dur. İnce filmlerin kırınım desenleri $20^\circ \leq 2\theta \leq 70^\circ$ ve $20^\circ \leq 2\theta \leq 80^\circ$ açı aralıklarında elde edilmiş ve tarama açısı değerleri 0,02'lik adımlarla arttırılmıştır. Elde edilen XRD desenleri birbirleriyle ve literatür taraması sonucu elde edilen değerler ile karşılaştırılmıştır. Şekil 3.7'de kullanılan PANalytical Empyrean marka XRD cihazının görüntüsü bulunmaktadır.

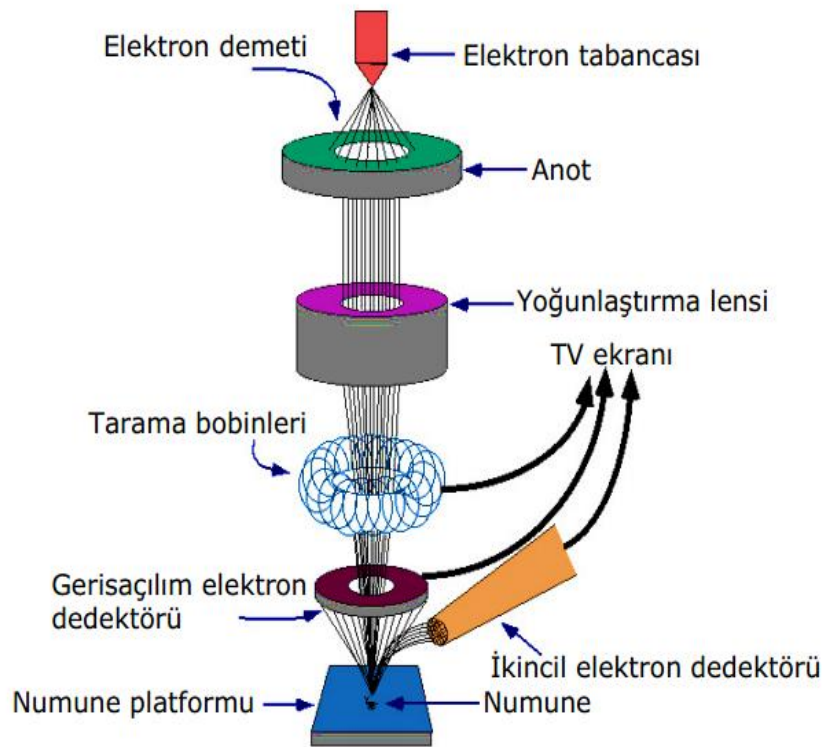


Şekil 3.7. PANalytical Empyrean XRD cihazı.

3.2.2.b. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM)

SEM, temel olarak, numunelerdeki hücrelerin topografisini, geniş bir büyütme aralığı boyunca gözlemlemek için kullanılır. SEM için numune hazırlama basittir. Çeşitli numunelere uyarlanabilir ve analiz yapılabilmesi için ultra ince dilimler üretilmesine gerek yoktur.

SEM, mikron veya nanometre ölçeğinde malzemeleri analiz etmek ve yorumlamak için kullanılabilir. Alan emisyonlu taramalı elektron mikroskobunun çözünürlüğü 1 nm'ye kadar ulaşabilir. Taramalı elektron mikroskobunun bir diğer önemli özelliği, büyük alan derinliği nedeniyle numuneleri üç boyutlu olarak gözlemlemek ve analiz etmek için kullanılabilmesidir. Alan derinliği ne kadar büyük olursa, numuneler hakkında o kadar fazla bilgi elde edilebilir. Şekil 3.8'de SEM şematik diyagramı bulunmaktadır.



Şekil 3.8. SEM şematik diyagramı (Joshi and Bhattacharyya 2008).

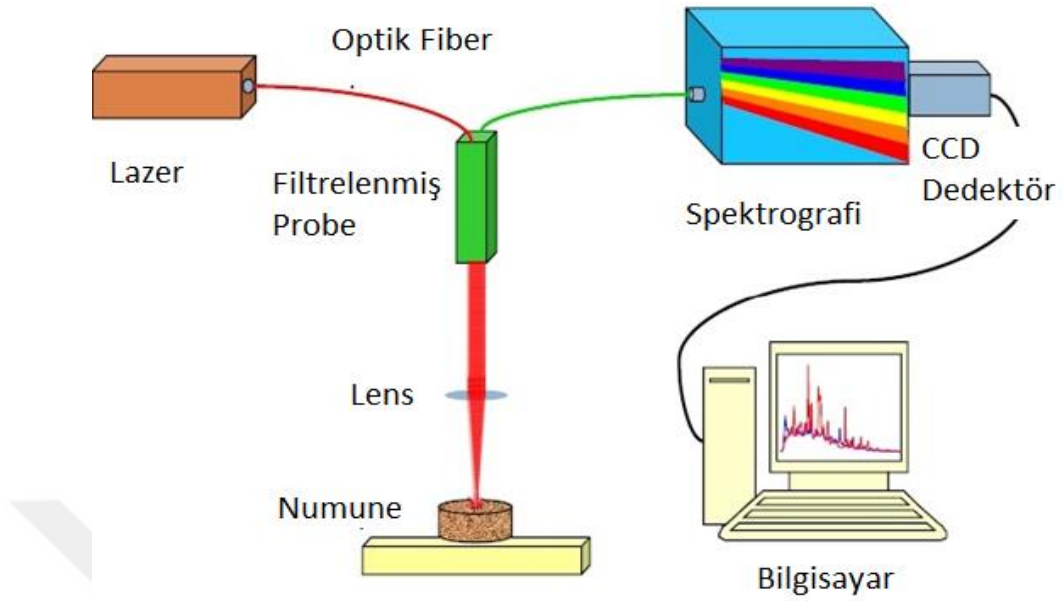
İnce film büyütme sonrası yüzeylerin mikro yapılarını incelemek amacıyla Şekil 3.9'da gösterilen Bayburt Üniversitesi, Merkezi Araştırma Laboratuvarında bulunan FEI Nova NanoSEM 450 marka taramalı elektron mikroskobu yardımı ile tüm numunelerin yüzey görüntüleri alınmıştır.



Şekil 3.9. FEI Nova NanoSEM 450 SEM cihazı.

3.2.2.c. Raman Spektroskopisi

Raman spektroskopisi, akademik alanda geniş uygulama alanına sahip olan titreşim spektroskopisidir. Bu yöntem ile ışık kaynağından gönderilen fotonların esnek olmayan saçılmaları incelenerek maddeyi oluşturan atom veya moleküllerin yapmış olduğu bağlar hakkında bilgi edinilebilir. Temelde Raman saçılması gönderilen fotonla, saçılan foton arasındaki enerji farkının spektroskopik incelenmesiyle gerçekleştirilir(Goh *et al* 2017). Şekil 3.10'da Raman spektroskopisi şematik diyagramı bulunmaktadır.



Şekil 3.10. Raman spektroskopisi şematik diyagramı (Chiang *et al.* 2015).

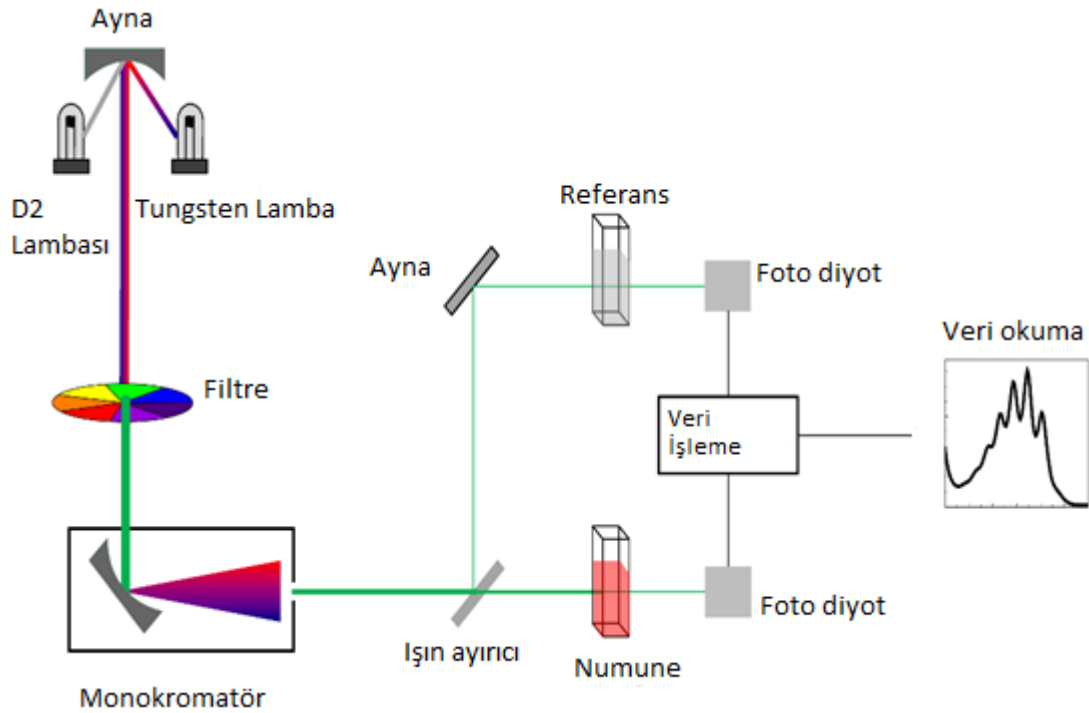
Elde edilen ince filmlerin mikro yapısını ve titreşim özelliklerini incelemek için Şekil 3.11'de gösterilen Atatürk Üniversitesi, Doğu Anadolu Yüksek Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezinde (DAYTAM) bulunan WITech alpha 300R marka mikro Raman cihazı kullanılmıştır.



Şekil 3.11. WITech alpha 300R mikro Raman cihazı.

3.2.2.d. Ultraviyole ve Görünür Işık Absorpsiyon Spektroskopisi (UV-Vis)

UV-Vis, bir ışın demetinin bir numuneden geçtikten veya bir numune yüzeyinden yansıtıldıktan sonraki azalmasının ölçülmesi prensibine göre çalışmaktadır. Işığın şiddetinin azalması absorplamanın arttığı anlamına gelir. Numunenin değişimi, belirli bir dalga boyundaki absorpsiyonun ölçülmesi ile bulunmaktadır. UV-Vis, genellikle inorganik iyon veya çözeltideki moleküllerin ve komplekslerin ölçümünde kullanılmaktadır. Birçok molekül mor ötesi veya görünür dalga boylarını absorplamakta olup, değişik moleküller, farklı dalga boylarını absorplamaktadır. Bir absorpsiyon spektrumu molekülün yapısını gösteren birçok absorplama bantlarından oluşmaktadır (Tatar 2015). Şekil 3.12'de ultraviyole ve görünür ışık absorpsiyon spektroskopisi (UV-Vis) şematik diyagramı bulunmaktadır.



Şekil 3.12. UV-Vis absorpsiyon spektroskopisi şematik diyagramı.

UV - Vis ölçümleri, Şekil 3.13'de gösterilen Atatürk Üniversitesi, Doğu Anadolu Yüksek Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezinde (DAYTAM) bulunan Shimadzu UV-3600 Plus marka ultraviyole spektrometre ile alınmıştır.



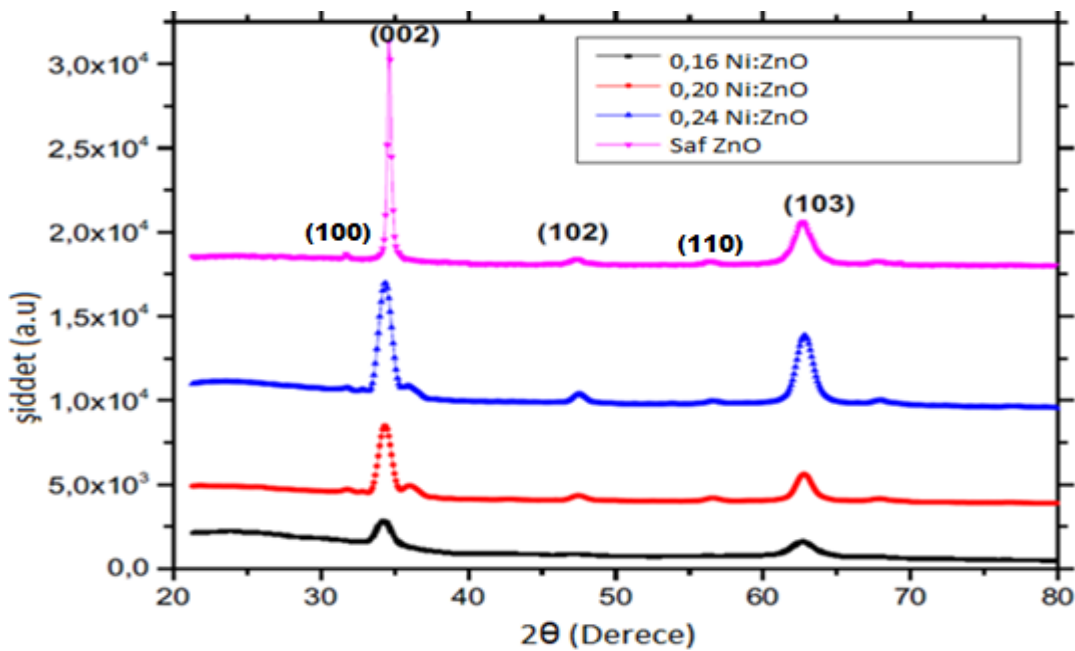
Şekil 3.13. Shimadzu UV-3600 Plus UV-Vis cihazı.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

4.1. İnce Filmlerin Yapısal ve Optik Analizleri

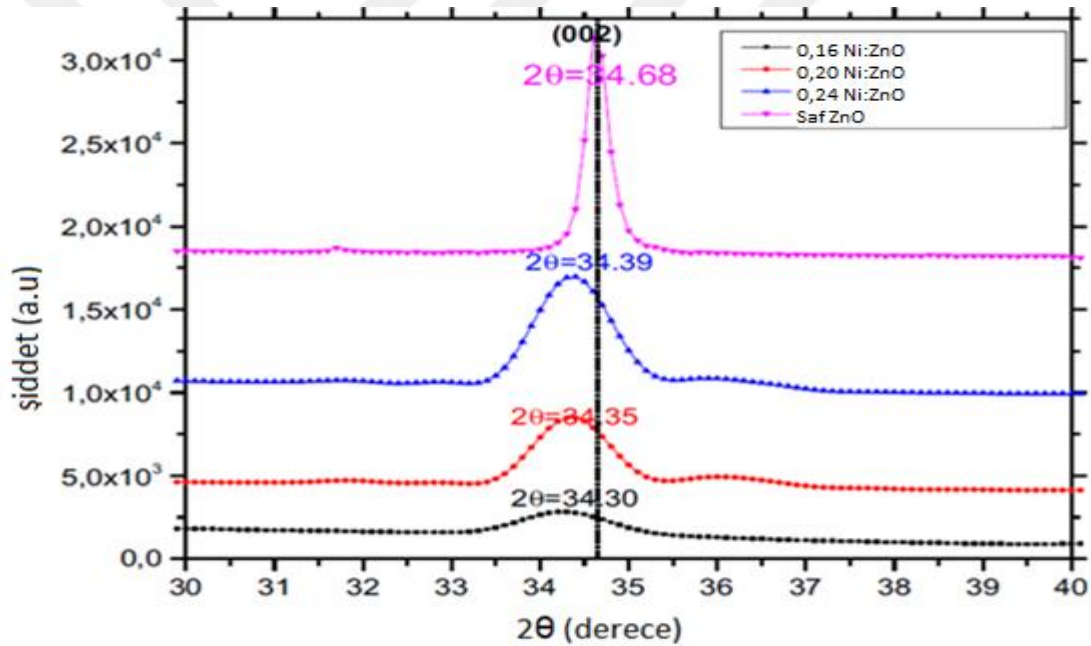
4.1.1. İnce Filmlerin XRD Analizleri

Saf ve Ni:ZnO'nin kristal yapısı, XRD yöntemi ile analiz edilmiştir. Saf ZnO ve Ni:ZnO ince filmleri XRD pik yönelimleri 36-1451 numaralı JDPDS verisi ile kıyaslanmış ve yönelimleri Şekil 4.1'de verilmiştir. Bu sonuçlar, tercih edilen c eksenli yönelimli altıgen wurtzite yapı olduğunu göstermiştir (Peng *et al.* 2017). XRD sonuçlarından, (002) düzlemi yansımasının $2\theta = 34,3^\circ$ 'de ve (101) düzlemi yansımasının yaklaşık $2\theta = 36,25^\circ$ 'de bulunduğu görülmektedir. Ayrıca XRD analizleri sonuçları, Ni katkılama seviyesinin, ZnO ince filmlerin (103) yönelimini geliştirmede önemli bir rol oynadığını göstermektedir. ZnO filmlerinin artan Ni katkılaması sonucu katkılama ile doğru orantılı olarak arttığı görülmektedir. Sonuç olarak, Ni katkılama oranı, ZnO ince filmlerin kristalleşmesinde önemli bir rol oynamıştır (Gupta *et al.* 2008).



Şekil 4.1. Saf ZnO ve Ni:ZnO filmlerin XRD spektrumları

Şekil 4.2'de görülebildiği gibi, elde edilen XRD deseni büyütülerek incelendiğinde (002) pikinin konumu hafif ve düşük açıları kaymaktadır. Bu kayma, Ni^{2+} + (0,070 nm) iyonik yarıçapının, Zn^{2+} + (0,074 nm) iyon çapından daha küçük olması nedeniyle olabilir. Çalışmamızda, saf ZnO kafes yapısına eklenen Ni atomları, yapı içinde kristal stresi veya kusuru oluşturmaktadır. Yansıma açısının farklı açı değerlerine doğru kayması, kafes parametrelerinin değiştiği anlamına gelmektedir. Yansıma açılarının daha küçük derecelere doğru kayması kafes parametrelerinin büyümesinin bir sonucudur. Bunun sebebi, malzeme yüzeyine difüze olan oksijen atomlarının ara yerlere yerleşerek bası gerilmeleri oluşturmaları ve kafes yapısını genişletmesidir (Bayrak 2013).



Şekil 4.2. Saf ZnO ve Ni:ZnO ince filmlerin (002) tepe kaymalarının konumu

Kristal kusurları ve gerilmelerin, filmlerin kristal yapısında önemli bir değişikliğe neden olduğu düşünülmektedir. XRD spektrumunda, tepe noktalarının genişlemesi, daralması veya daha fazla yoğunluğu, Ni atomlarının eklenmesi ile oluşan kristal yapı kusurlarına bağlanabilir. Bragg yasası, denklem (4.1) düzlemler arası mesafeyi (d) belirlemek için kullanılmaktadır (Tilley 2006).

$$n\lambda = 2d\sin\theta \quad (4.1)$$

n bir tamsayıdır ($n=1$) ve θ yarı kırınım açısına karşılık gelir. Her bir filmin (002) düzlemi için d mesafesi hesaplanmış ve Çizelge 4.1’de verilmiştir. Çizelgelerin verileri, standart verilerle (JCPDS No. 36-1451) uyumludur.

Debye - Scherrer denklemi (4.2) kullanılarak ince filmlerin (002) düzlemi için ortalama kristalit büyüklüğü (D) hesaplanmıştır (Grenne *et al.* 2005).

$$D = \frac{k\lambda}{\beta \cos \alpha} \quad (4.2)$$

Burada sırasıyla k , 0,90 Scherrer sabitini D , ortalama kristalit boyutu ve λ , X ışınının (0,15406 nm) dalga boyunu ifade etmektedir. Ek olarak α , Bragg açısıdır ve β radyan cinsinden yarı genişliği ifade etmektedir. D , sırasıyla Ni:ZnO ince filmler için katkılama oranlarının artmasıyla 7,041 nm, 8,463 nm ve 9,578 nm olarak hesaplanırken, saf ZnO ince film için 26,53 nm olarak hesaplanmıştır. Ek olarak, ince filmlerin kafes sabitleri (c) ve (a), denklem (4.3) kullanılarak, daha önce belirlenen XRD verileri kullanılarak hesaplanmıştır (Keskenler *vd.* 2012).

$$\frac{1}{d_{hkl}^2} = \frac{4}{3} \frac{h^2 + k^2 + hk}{a^2} + \frac{l^2}{c^2} \quad (4.3)$$

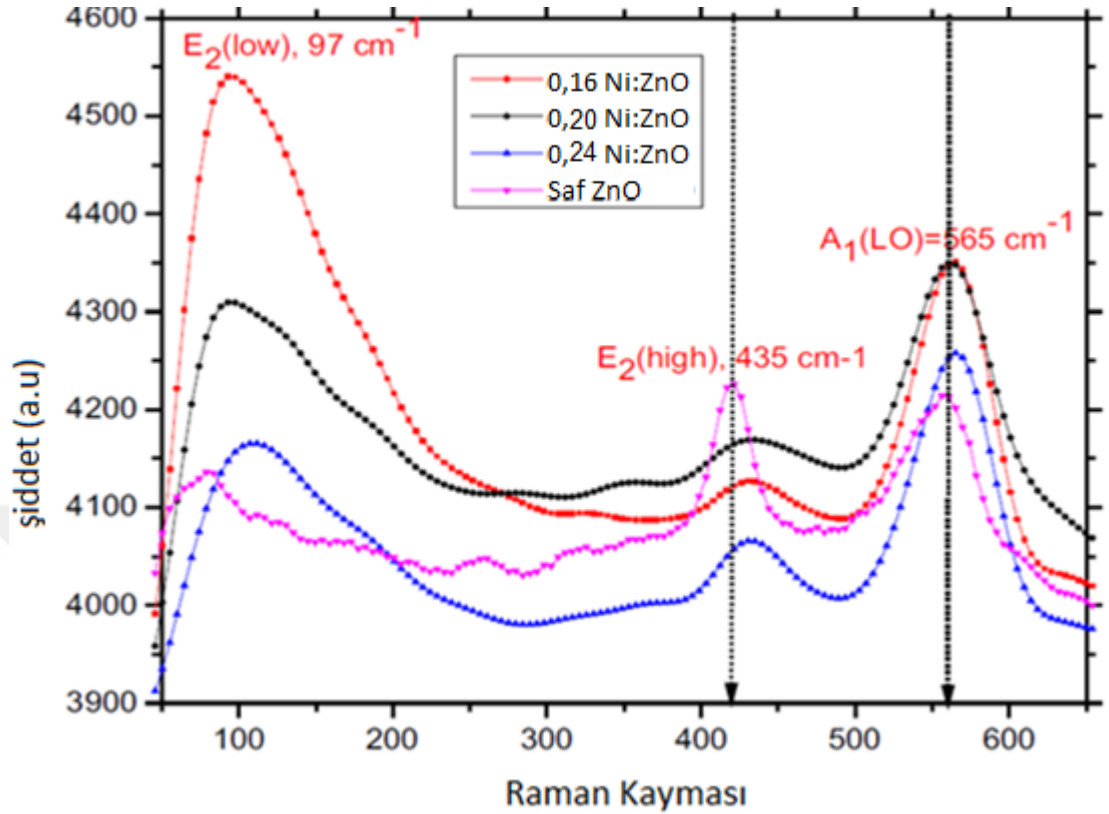
Saf ZnO ince film için kafes sabitinin (c) hesaplanan değeri 5,1698 Å’dır ve artan Ni katkılama oranına bağlı olarak, bu değerler sırasıyla Ni:ZnO filmler için 5,2246 Å, 5,2172 Å ve 5,2114 Å’dur. İnce filmler için hesaplanan bu değerler standart verilerle uyumludur (JCPDS No. 36-1451, $c = 5,2066$ Å).

Çizelge 4.1. Saf ZnO ve Ni:ZnO ince filmlerin bazı yapısal özellikleri.

Ni Katkılama oranı (%)	c(Å)	a(Å)	$d_{(002)}$ a(Å)	FWHM (degree)	D (nm)
0,00	5,1689	2,9849	2,5849	0,3278	26,53
0,16	5,2246	3,0164	2,6123	1,2334	7,041
0,20	5,2172	3,0091	2,6086	1,0275	8,463
0,24	5,2114	3,0088	2,6057	0,9079	9,578

4.1.2. İnce Filmlerin Raman Analizleri

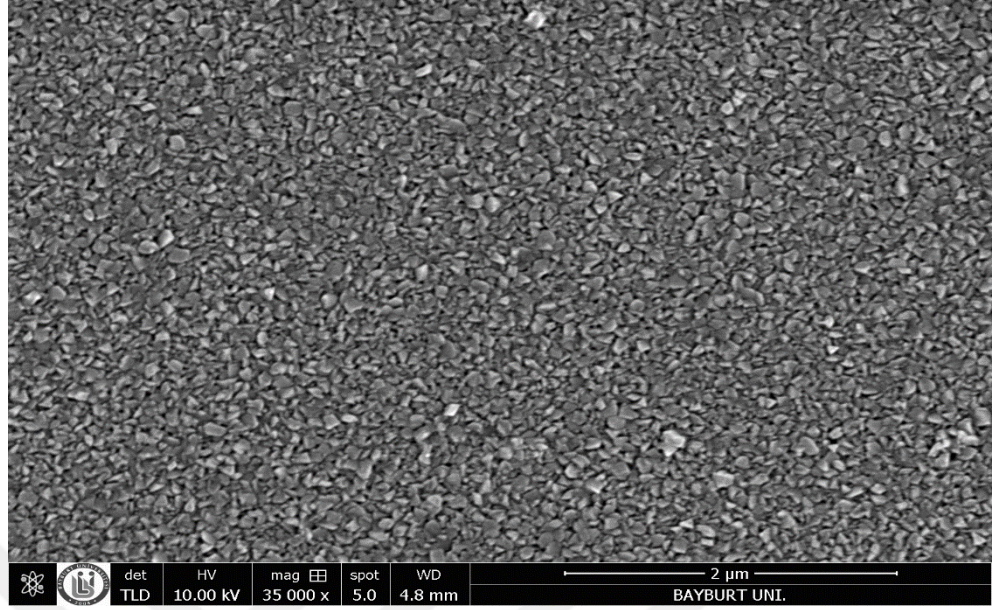
Saf ve Ni:ZnO ince filmlerin mikroyapısını ve titreşim özelliklerini incelemek için Raman spektroskopisi ile analiz yapılmıştır. Saf ve Ni:ZnO ince filmler için Raman spektrumu Şekil 4.3'te gösterilmiştir. Ni:ZnO ince filmler için 97 cm^{-1} 'de E_2 (düşük), yaklaşık 374 cm^{-1} 'de E_2 (yüksek), 435 cm^{-1} 'de A_1 (TO), E_2 (yüksek) modunda ve 565 cm^{-1} 'de A_1 (LO) modları tespit edilmiştir. (Morkoç ve Özgür 2008) Raman spektrumu kullanılarak, ZnO fonun modlarının varlığı doğrulanmış ve bu sonuçların literatürdeki çalışmalara uygun olduğu anlaşılmıştır (Juárez-Amador 2018).



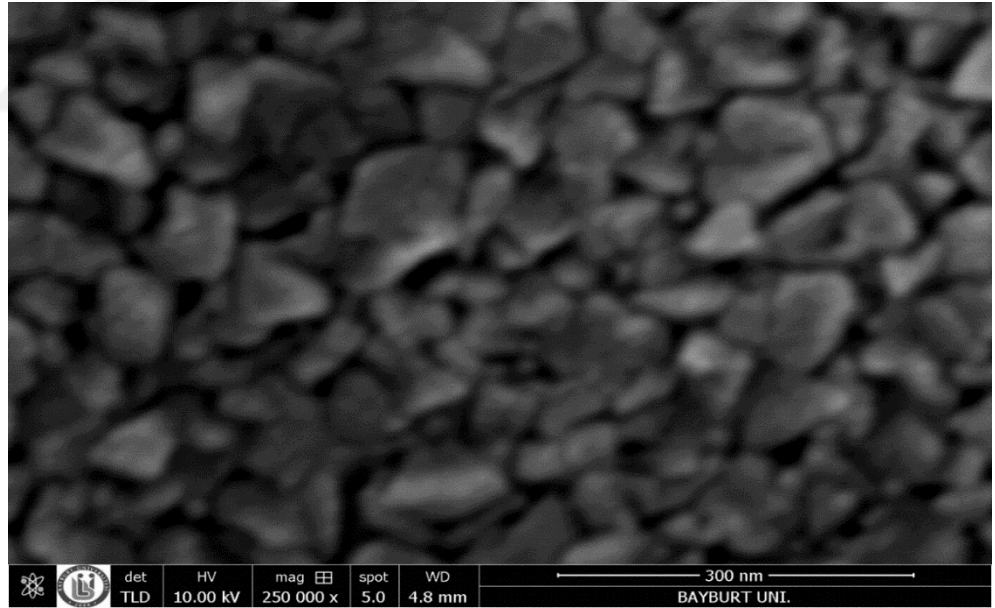
Şekil 4.3. Saf ZnO ve Ni:ZnO filmlerin Raman spektrumu.

4.1.3. İnce Filmlerin SEM Analizleri

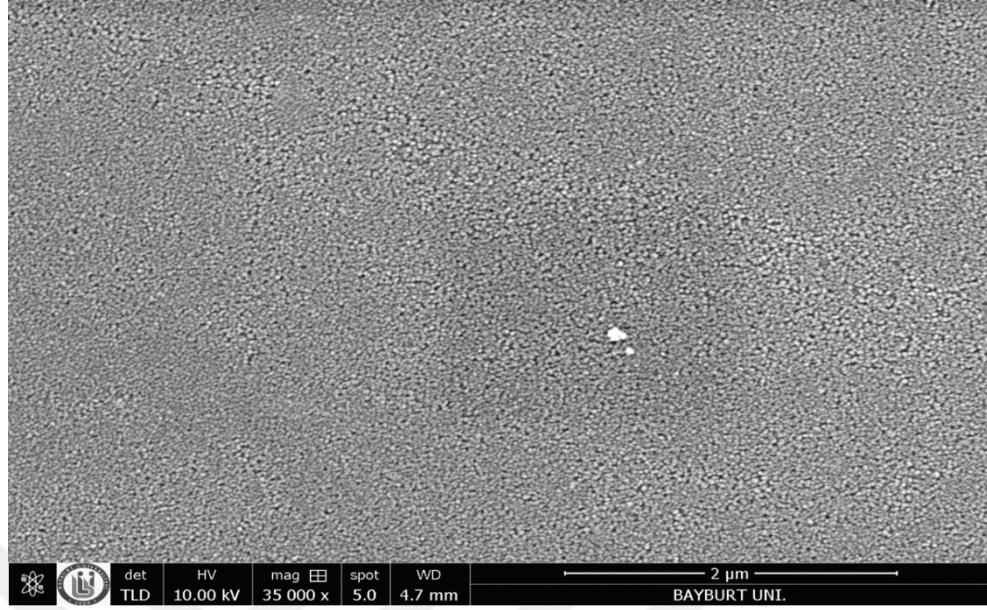
Saf ZnO ve Ni:ZnO ince filmlerinin morfolojik ve elementel bileşimleri, sırasıyla Şekil 4.4 – 4.11’de gösterildiği gibi SEM kullanılarak incelenmiştir. SEM görüntülerinden, bütün numunelerin yüzey morfolojisinin, herhangi bir kusur olmaksızın (boşluklar, çatlaklar, vb.) sıkıca paketlenmiş granüler tanelerden oluştuğu görülebilir. Granüler tanelerin, önceki yıllarda araştırmacılar tarafından yapılan Ni:ZnO ince filmlerin morfolojisine benzer şekilde pürüzsüz bir yüzey ile düzgün bir şekilde dağıldığı tespit edilmiştir. Ayrıca Ni içeriği %0,20 ve %0,24 olan örneklerin tane büyüklüğü diğer örneklerden daha büyüktür. Ek olarak, Ni katkılama seviyesinin artması nedeniyle granüler yapılar yerine nano boyutlu plakalar gözlenmiştir (İsmail and Abdullah 2013). Sonuç olarak, ortalama kristalit boyutu Ni katkılama seviyesinin artmasıyla doğrusal olarak artmış ve bu daha önce açıklanan XRD sonuçlarıyla doğrulanmıştır. Numunelerin Ni içeriği, artan DC gücüne bağlı olarak sırasıyla %0,16, %0,20 ve %0,24’tür.



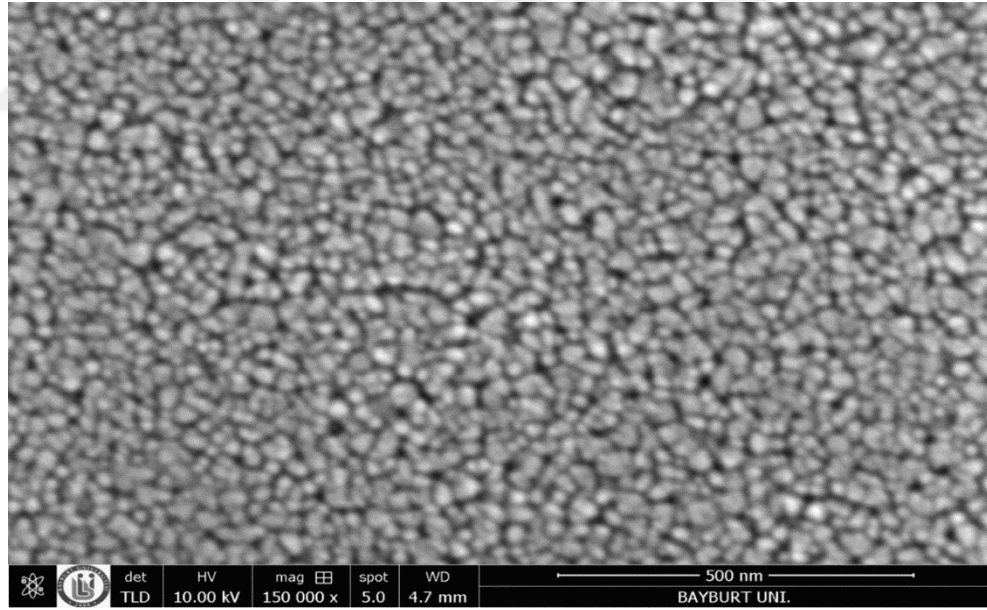
Şekil 4.4. Saf ZnO filmin 35 000 kat büyütülmüş SEM görüntüsü.



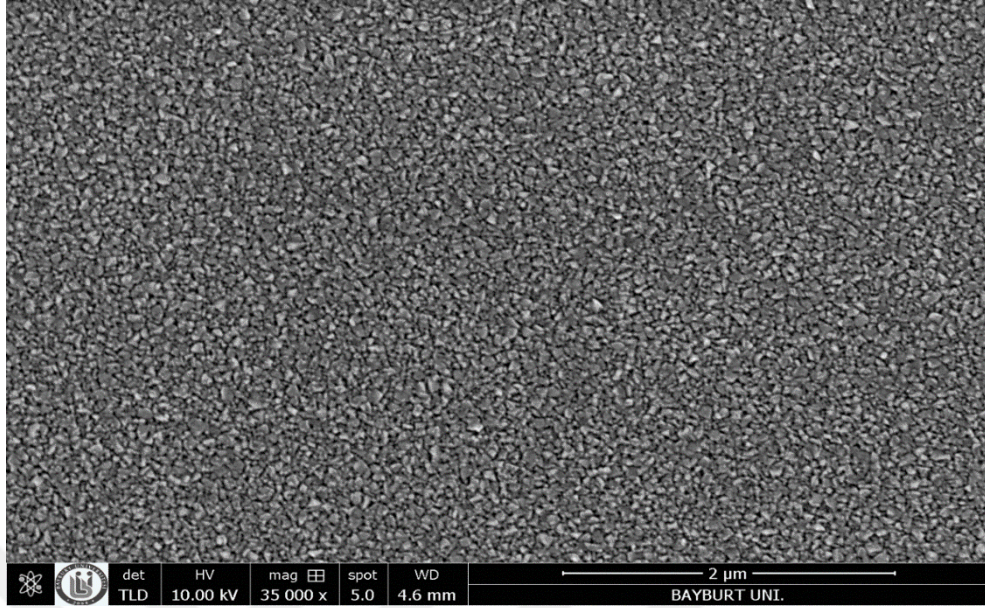
Şekil 4.5. Saf ZnO filmin 250 000 kat büyütülmüş SEM görüntüsü.



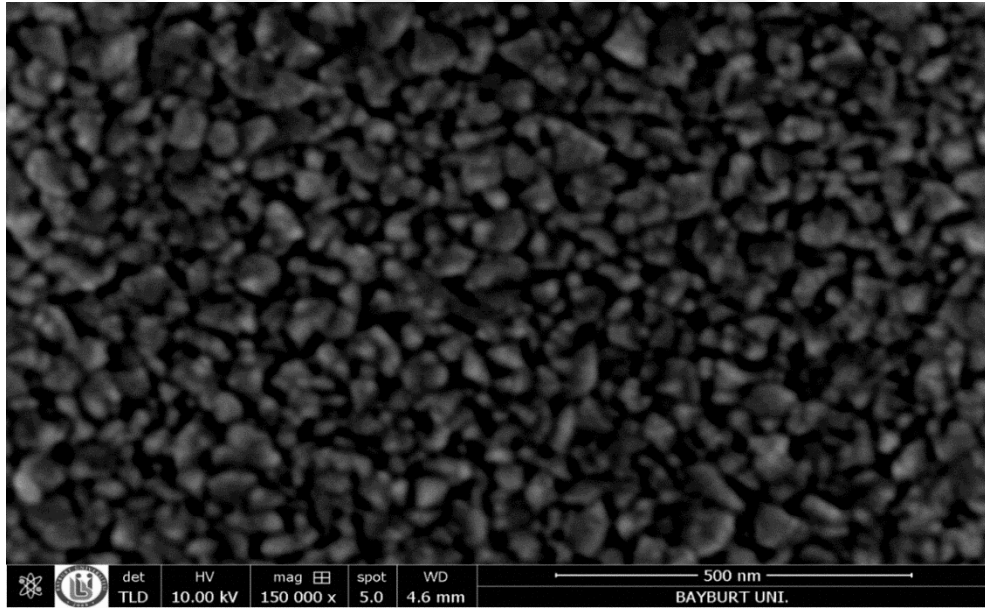
Şekil 4.6. %0,16 Ni:ZnO filmin 35 000 kat büyütülmüş SEM görüntüsü.



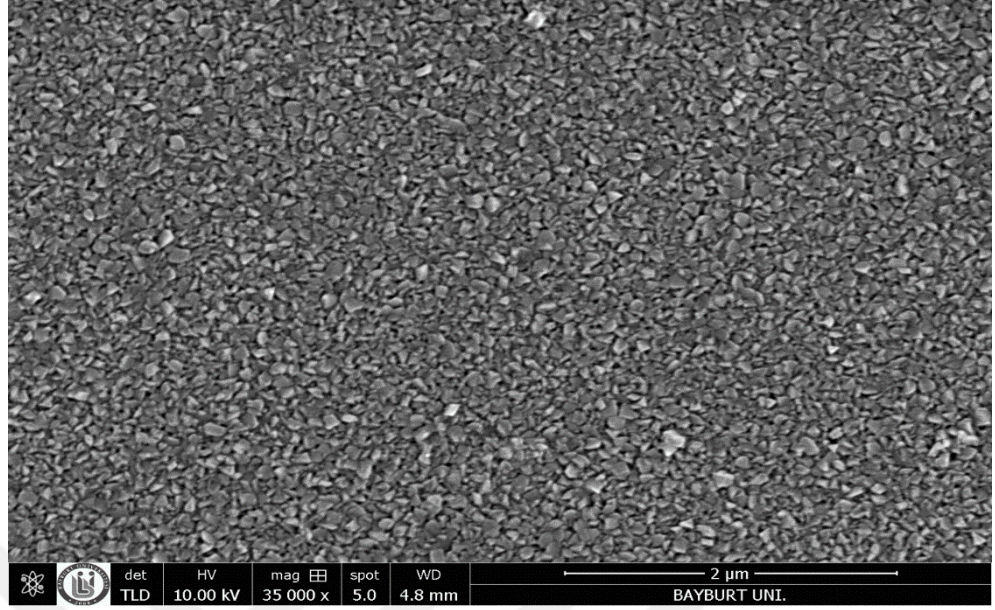
Şekil 4.7. %0,16 Ni:ZnO filmin 150 000 kat büyütülmüş SEM görüntüsü.



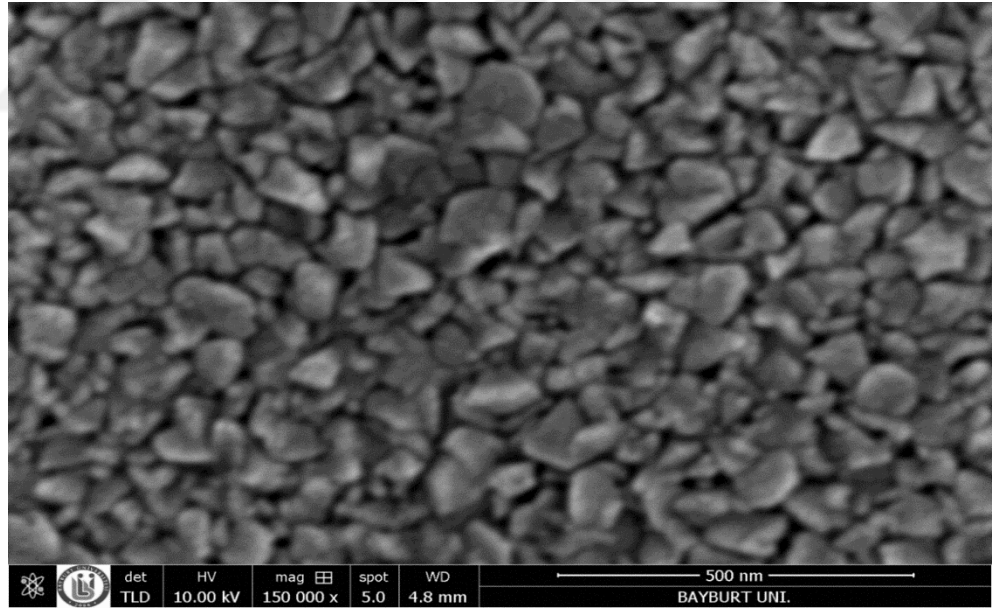
Şekil 4.8. %0,20 Ni:ZnO filmin 35 000 kat büyütülmüş SEM görüntüsü.



Şekil 4.9. %0,20 Ni:ZnO filmin 150 000 kat büyütülmüş SEM görüntüsü.



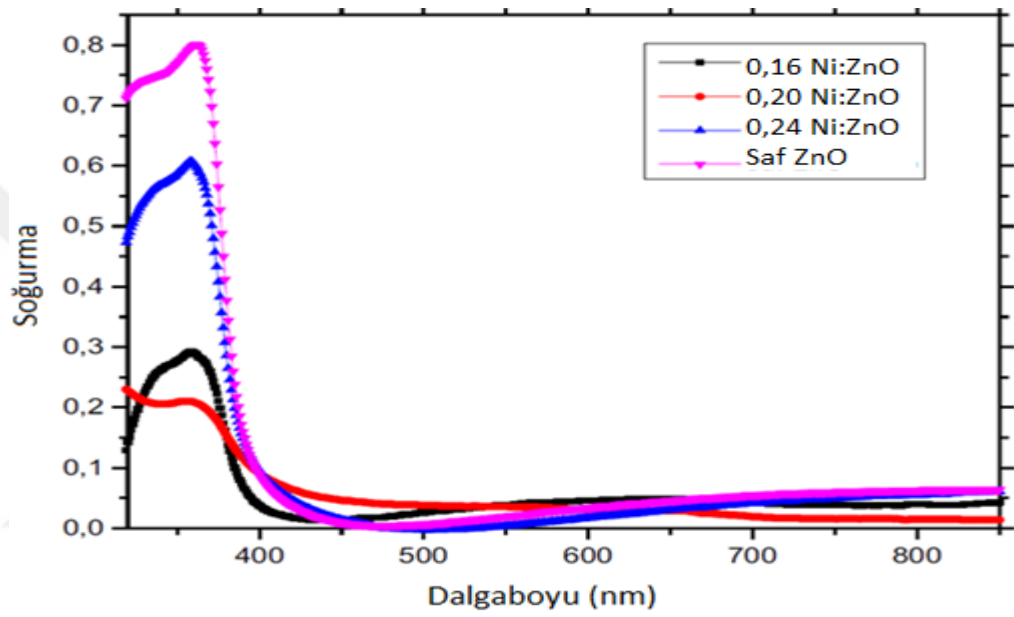
Şekil 4.10. %0,24 Ni:ZnO filmin 35 000 kat büyütülmüş SEM görüntüsü.



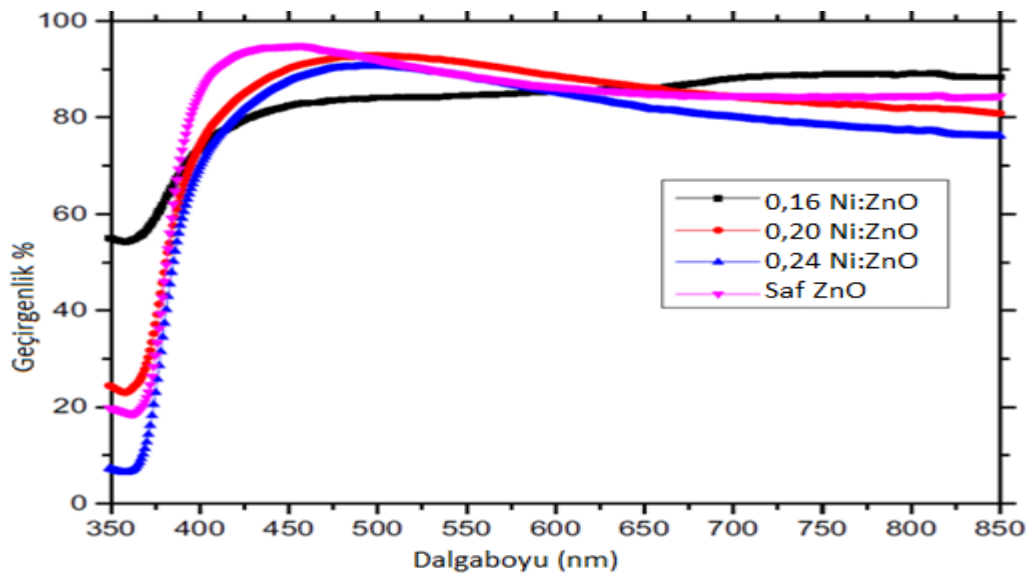
Şekil 4.11. %0,24 Ni:ZnO filmin 150 000 kat büyütülmüş SEM görüntüsü.

4.1.4. İnce Filmlerin UV-Vis Analizleri

Ni:ZnO ince filmlerin soğurma ve geçirgenlik spektrumları gibi optik özellikler UV-Vis spektroskopisi ile belirlenmiştir. Saf ve Ni:ZnO ince filmlerin soğurma spektrumları Şekil 4.12'de ve geçirgenlik spektrumları Şekil 4.13'te verilmiştir.



Şekil 4.12. Ni:ZnO ince filmlerin soğurma spektrumu.

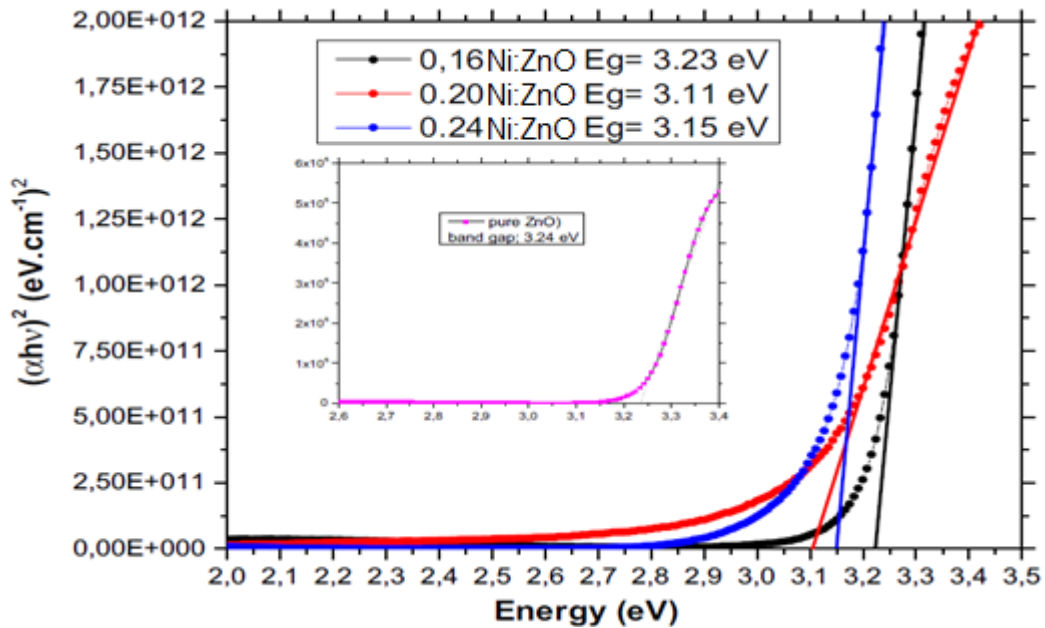


Şekil 4.13. Ni:ZnO ince filmlerin geçirgenlik spektrumu.

Şekil 4.12'de ki soğurma spektrumlarında, tüm Ni:ZnO numunelerinin soğurma pikinin 362 nm'de ortalındığı ve bu pikin yoğunluğunun Ni katkı oranının artmasıyla arttığı görülmektedir. Şekil 4.13'te görülebileceği gibi, Ni katkılı tüm ince filmler 450 – 550 nm dalga boyu aralığında oldukça şeffaftır (>%90), bu özellikleri bakımından şeffaf iletken oksitlere benzemektedirler. Aynı zamanda, Ni oranı %0,20 ve 0,24 olan ZnO filmlerinin saydamlığı, %0,16 olan ZnO filmlerinden daha yüksektir (550 nm'de). Ni:ZnO ince filmlerin soğurma kenarları, Ni katkı oranındaki artış nedeniyle daha uzun dalga boylarına doğru kaymakta ve filmlerde kırmızıya kayma gözlemlenmektedir (Liu *et al.* 2007; Chakraborti *et al.* 2018). Bilindiği gibi, ZnO gibi doğrudan geçişli yarıiletkenler için, bant aralığı E_g , denklem 5.4'den hesaplanabilir (Li *et al.* 2007);

$$(ahv)^2 = \beta(hv - E_g) \quad (4.4)$$

a optik soğurma katsayısı, $h\nu$ foton enerjisi ve β bir sabittir. Doğrudan bant aralığı $(ahv)^2$, bu denklem kullanılarak hesaplanır. Şekil 4.14'te farklı Ni katkılama seviyesine sahip ZnO ince filmler için $h\nu$ 'ye karşı $(ahv)^2$ 'nin, grafikleri gösterilmektedir.



Şekil 4.14. Ni:ZnO ince filmler için $(ahv)^2$ 'ye karşı enerji ($h\nu$) grafikleri.

Tahmini bant aralığı (Eg), %16 Ni katkılı ZnO için 3,23 eV, %20 Ni katkılı ZnO için 3,11 eV, %24 Ni katkılı ZnO için 3,15 eV'dir. Filmlerin şeffaflığı, Ni katkılama seviyesinin artmasıyla nispeten artar, ancak bu artış doğrusal değildir. Dejenere yarıiletkenlerde (ZnO), taşıyıcı konsantrasyonu arttığında optik bant aralığı genişler. Bu olay Moss-Burstein etkisi olarak bilinir (Kim *et al.* 2010; Ammaih *et al.* 2014). İnce filmlerin bant aralığının, Moss-Burstein etkisi nedeniyle Ni içeriğindeki artışla göreceli olarak arttığı düşünülmektedir (Pandey *et al.* 2009). Ek olarak, tane büyüklüğü, optik bant aralığını ters yönde etkiler. Yapılan tez çalışmasında, tane boyutu büyüdükçe, optik bant aralığının azaldığı ve benzer şekilde optik bant aralığı büyüdükçe, tane ebadının azaldığı bulunmuştur. Ayrıca, bant aralığı azalmasının, geçiş katkı iyonlarının neden olduğu bant aralığı içindeki kusur durumlarının varlığından kaynaklandığına inanılmaktadır (Mondal and Pitra 2013).

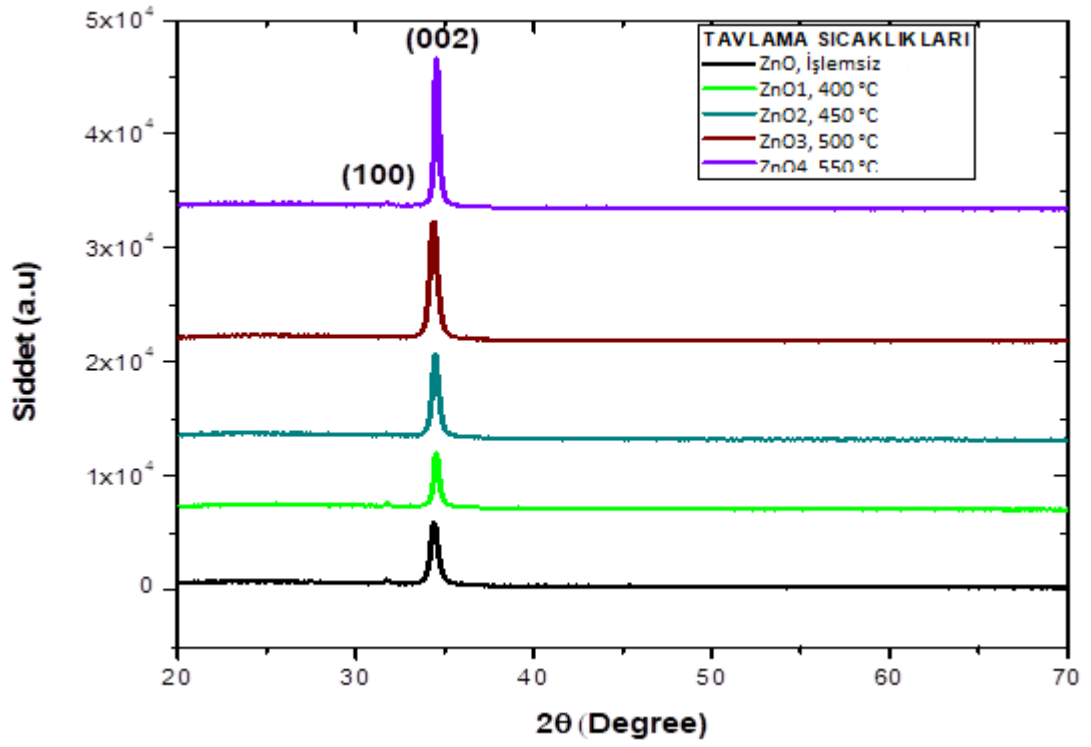
4.2. Tavlanmış İnce Filmlerin Yapısal ve Optik Analizleri

Saf ZnO ince filmler, azot – oksijen ortamında 400 °C - 550 °C aralığında 50 °C'lik adımlarla, 60 dakika boyunca tavllanmış ve tavlamanın ZnO ince filmlerin yapısal ve optik özellikleri üzerinde ki etkisi incelenmiştir.

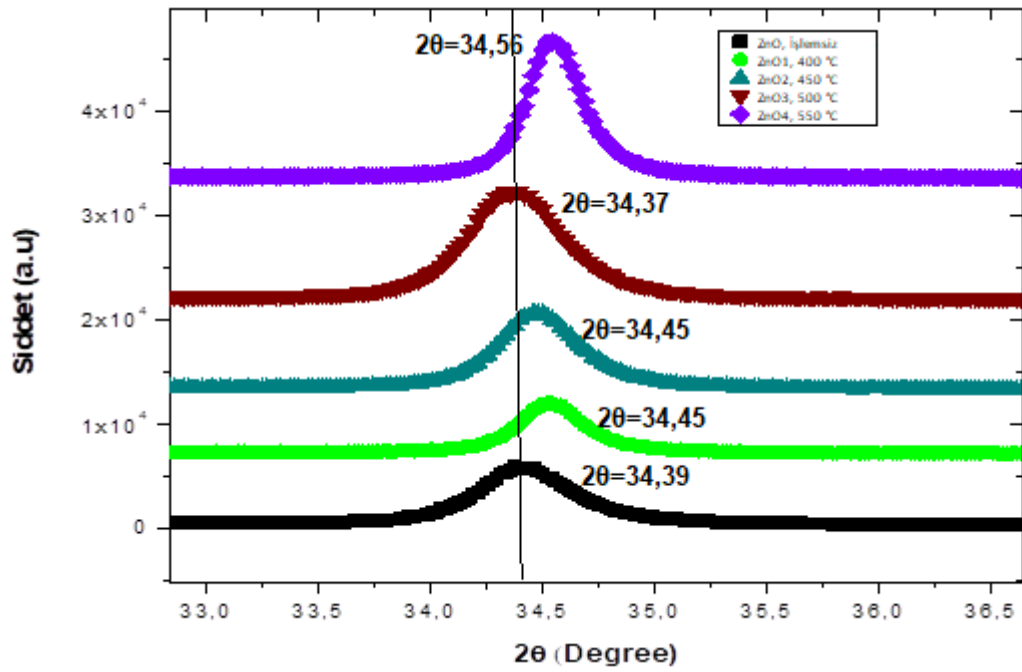
4.2.1. Tavlanmış İnce Filmlerin XRD Analizleri

Şekil 4.15'te farklı sıcaklıklarda tavllanmış ZnO ince filmler için XRD spektrumları gösterilmektedir. Filmlerde, ZnO (002)'ye karşılık gelen pik değeri tespit edilmiştir ve bu da tercih edilen yönelimi c eksenine olan bir polikristalin wurtzite fazının oluştuğunu göstermiştir. ZnO ile ilişkili ikincil fazlara atfedilen çok küçük bir difraksiyon piki (100) gözlenmiştir. Tavlama işleminden sonra pik pozisyonlarında önemli bir değişiklik olmazken, (002) kırınım piklerinin şiddeti artmış ve yarı genişlik değeri azalmıştır.

Şekil 4.16'da görülebildiği gibi, (002) zirvesinin konumu hafif ve düşük açılı kaymaktadır. Sonuçlar, tavlama sıcaklığının artışıyla, ZnO filmlerin kristal kalitesinin arttığını göstermiştir.



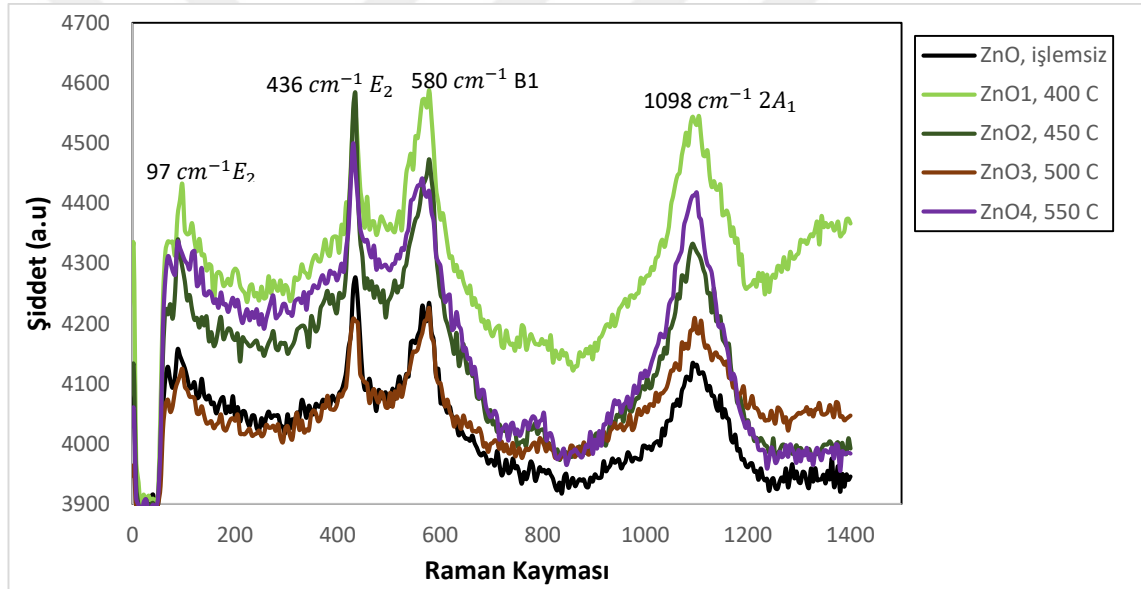
Şekil 4.15. Tavllanmış ZnO filmlerin XRD spektrumları.



Şekil 4.16. Tavllanmış ZnO filmlerin (002) tepe kaymalarının konumu.

4.2.2. Tavlanmış İnce Filmlerin Raman Analizleri

Tavlanmış ZnO ince filmlerin mikroyapısını ve titreşim özelliklerini incelemek için Raman spektroskopisi ile analiz yapılmıştır. Çeşitli sıcaklıklarda tavlanmış ZnO ince filmler için Raman spektrumu Şekil 4.17'de gösterilmiştir. ZnO ince filmler için 97 cm^{-1} 'de E_2 (düşük), yaklaşık 436 cm^{-1} 'de E_2 (yüksek), 580 cm^{-1} 'de B1 (yüksek), yaklaşık 1098 cm^{-1} 'de $2A_1$ (düşük) modları tespit edilmiştir. Raman spektrumu kullanılarak, tavlanmış ince filmlerde ZnO fonon modlarının varlığı doğrulanmış ve bu sonuçların literatürle uygun olduğu anlaşılmıştır (Mahendran *et al.* 2013).

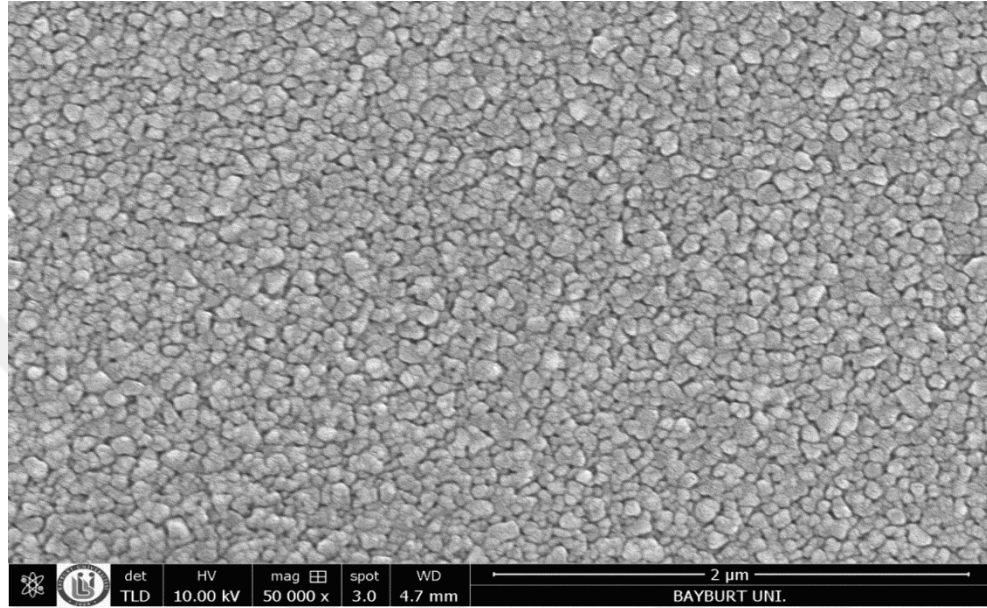


Şekil 4.17. Tavlanmış ZnO filmlerin Raman spektrumu.

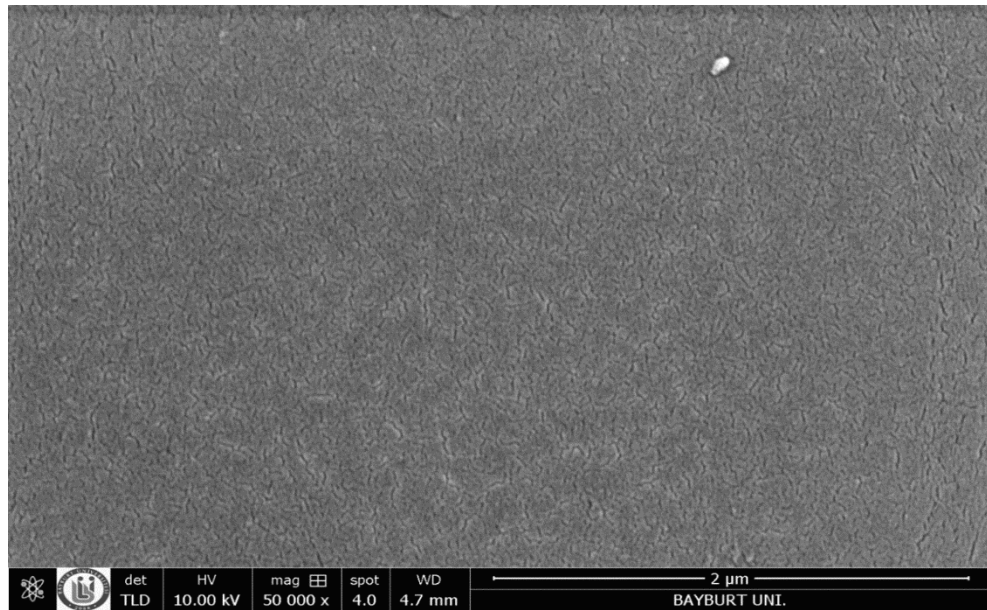
4.2.3. Tavlanmış İnce Filmlerin SEM Analizleri

Şekil 4.18 – Şekil 4.20'de, 400°C ile 550°C arasında değişen sıcaklıklarda tavlanan ZnO ince filmlerin 50 000 kat büyütülmüş ve Şekil 4.21'de ise ZnO ince filmin 100 000 kat büyütülmüş SEM görüntüleri gösterilmektedir. Tavlama sıcaklığının 400°C 'den, 550°C 'ye yükselmesiyle tanecik yapılarında değişiklikler olduğu gözlemlenmiştir. Tanecikler, sıcaklığın artmasıyla nanolif şeklini almışlar ve nanoliflerin çapı büyümüştür. Liflerin ortalama çapının tavlama sıcaklığının artmasıyla arttığı, bu duruma, tavlama

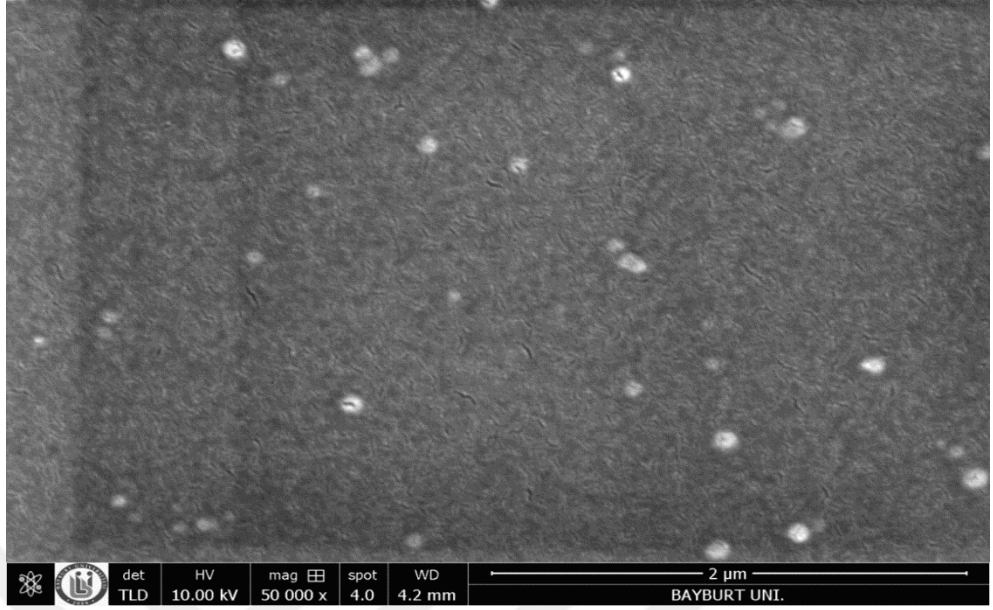
işlemi sırasında daha ince liflerin topaklanmasının kaynaklandığı ve daha kalın lifler ürettiği tespit edilmiştir. Tavlama sıcaklığının liflerin kalınlığı üzerinde doğrudan bir etkiye sahip olduğu görülmüştür (Kumar *et al.* 2013).



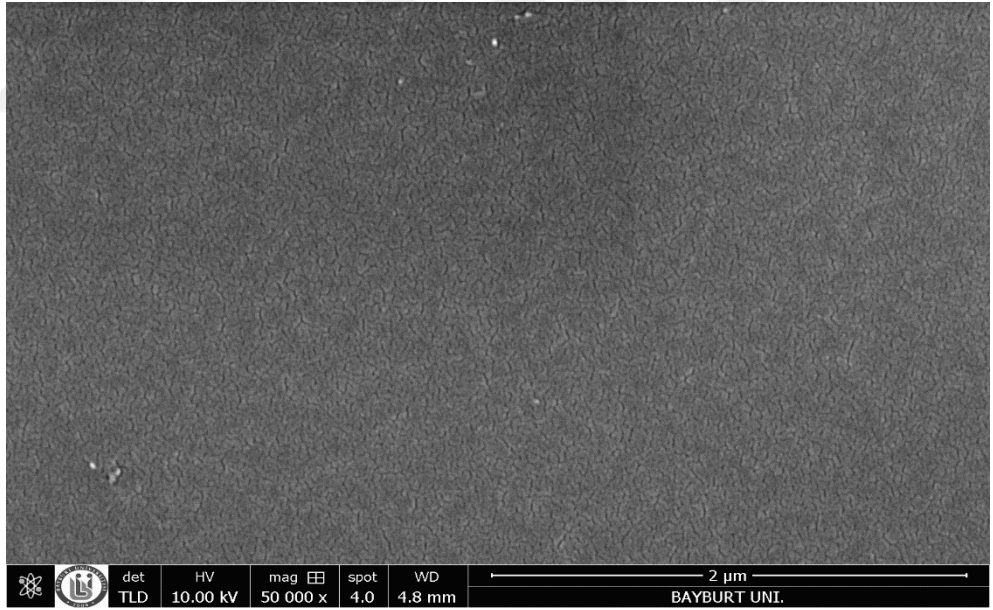
Şekil 4.18. 400°C’de tavllanmış ZnO ince filmin 50 000 kat büyütülmüş SEM görüntüsü.



Şekil 4.19. 450°C’de tavllanmış ZnO ince filmin 50 000 kat büyütülmüş SEM görüntüsü.



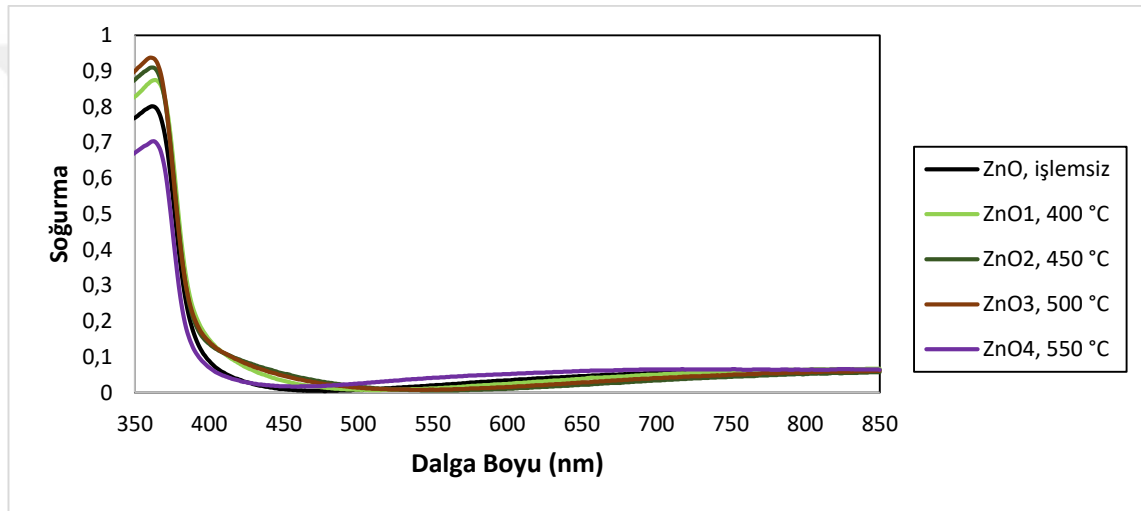
Şekil 4.20. 500°C’de tavlanmış ZnO ince filmin 50 000 kat büyütülmüş SEM görüntüsü.



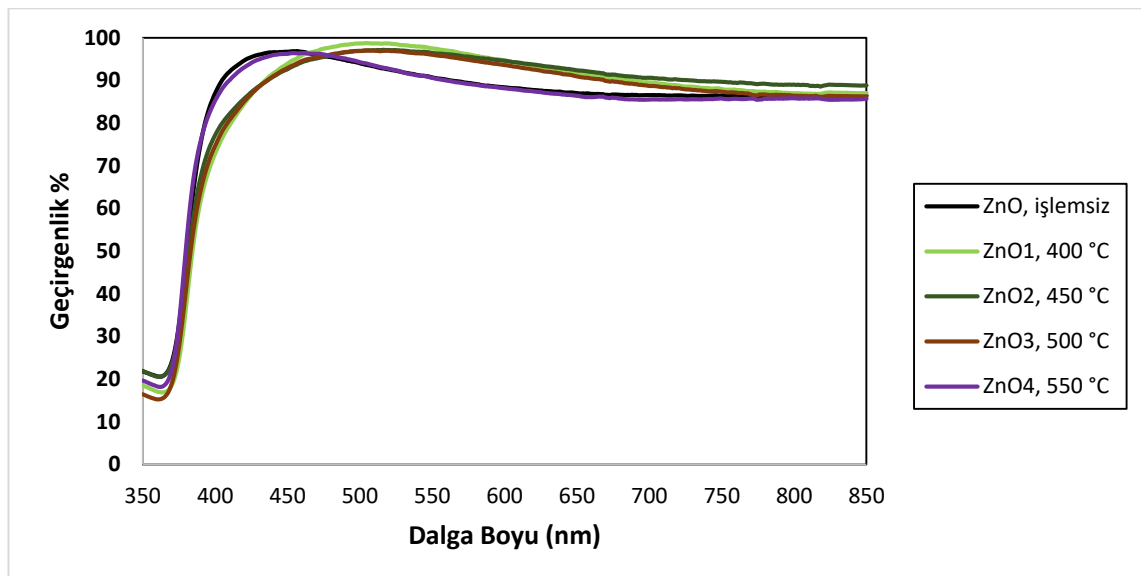
Şekil 4.21. 550°C’de tavlanmış ZnO ince filmin 100 000 kat büyütülmüş SEM görüntüsü.

4.2.4. Tavlanmış İnce Filmlerin UV-Vis Analizleri

Tavlanmış ZnO ince filmlerin optik özellikleri UV-Vis spektroskopisi ile incelenmiştir. Yüksek şeffaflık, ZnO ince filmlerin şeffaf iletken oksit (TCO)'ler olarak uygulanması için en önemli faktörlerden biridir. Şekil 4.22'de, ZnO filmlerinin, 350 – 850 nm dalga boylarına sahip soğurma spektrumları ve Şekil 4.23'te 300 ile 850 nm dalga boylarına sahip optik geçirgenlik spektrumlarını verilmiştir.



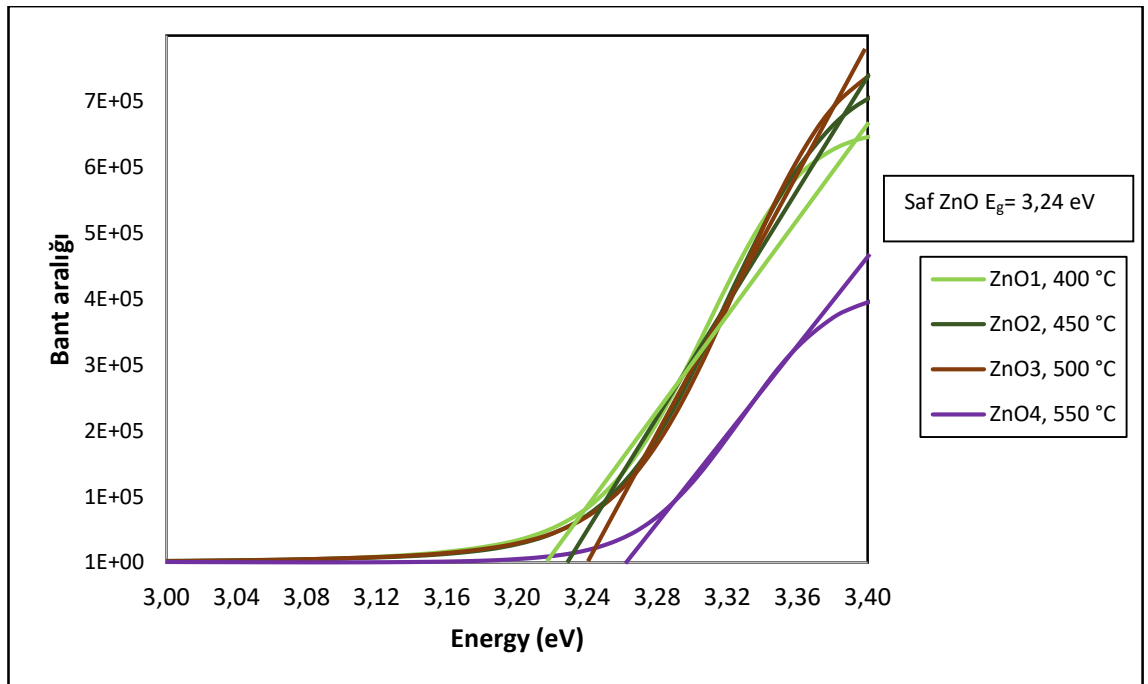
Şekil 4.22. Tavlanmış ZnO ince filmlerin soğurma spektrumu.



Şekil 4.23. Tavlanmış ZnO ince filmlerin geçirgenlik spektrumu.

Şekil 4.22'de ki soğurma spektrumlarında tüm tavlanmış ZnO ince filmlerin soğurma pikinin yaklaşık 365 nm'de ortalandığı ve pikin yoğunluğunun tavlama sıcaklığının artmasıyla kısmen arttığı görülmektedir. Şekil 4.23'te tüm filmlerin, 400 nm ile 500 nm arasında, %95'ten daha yüksek bir optik geçirgenliğe sahip olduğu belirlenmiştir. Ayrıca geçirgenliğin, tavlama sıcaklığı 400°C'den, 550°C'ye çıkarılmasıyla bir miktar azaldığı tespit edilmiştir. Filmlerin daha yüksek tavlama sıcaklığındaki geçirgenliğinin azalması, pürüzlü yüzeylerden saçılma etkisine bağlı olabilir. Daha önce yapılan çalışmalarda, yüzey pürüzlülüğünün ZnO bazlı ince filmlerin geçirgenliğini güçlü bir şekilde etkilediğini tespit edilmiştir. 2011 yılında Sengupta ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada, tavlama sıcaklığı 400°C'den, 700°C'ye yükselen ZnO filmlerinin geçirgenliğinin azaldığı tespit edilmiştir (Sengupta *et al.* 2011).

Çalışmada ayrıca ZnO ince filmlerin bant aralıkları incelenmiş olup Şekil 4.24'te, farklı sıcaklıklarda tavlanmış ince filmlerin bant aralıkları değerleri gösterilmektedir.



Şekil 4.24. Tavlanmış ZnO ince filmlerin bant aralığı spektrumu.

Örneklerin bant aralıkları, tavlama sıcaklığının 400°C'den, 550°C'ye çıkarılmasıyla artmış, 550°C'de maksimum 3,260 eV'ye ulaşmıştır. ZnO filmlerinin bant aralıkları sırasıyla 400°C, 450°C, 500°C ve 550°C tavllanmış numuneler için 3,230 eV, 3,253 eV, 3,240 eV ve 3,260 eV olarak belirlenmiştir. 2007 yılında Dutta ve arkadaşları, tanecik sınırlarında ki daha az bant bükülmesinden dolayı ZnO tane büyüklüğünde ve bant aralıklarında bir artış gözlemlediğini bildirmişlerdir. Benzer bir çalışmada Kumar ve arkadaşları tarafından yapılmış ve Cd:ZnO filmlerde artan tavlama sıcaklığı ile tane boyutlarında artış ile birlikte bant aralığının genişlediğini bildirmişlerdir (Kumar *et al.* 2018).



5. SONUÇ ve ÖNERİLER

Saf ZnO ve Ni:ZnO ince filmlerin kristal yapıları Şekil 4.1'de de belirtilen X-ışını difraksiyon yöntemi ile incelenmiştir. Katkısız ZnO'nin tercihli yönelimi olan (002) piki, $2\theta=34,3^\circ$ 'de tespit edilmiştir. Belirtilen pik elde edilen yapının hekzagonal wurtzite yapıda olduğunun bir kanıtıdır.

Ni katkısının artışı ile ZnO'nin hekzagonal wurtzite yapısında herhangi bir değişiklik olmamış ve tüm Ni:ZnO numuneleri alttaşı yüzeyine dik c-ekseni tercihli olarak büyümüştür. Ayrıca, artan katkılama ile düzlemler arası mesafede ki artış ve tanecik boyutundaki azalış kafes içerisinde zorlanma/gerilme ile sonuçlanmakta ve kafes yapısını bozduğu gözlenmiştir. Genel olarak Ni katkılamanın kristal yapıyı bozduğu görülmüştür.

XRD analizleri sonucunda Şekil 4.2'de de görüleceği üzere, Ni katkılama konsantrasyonunun artırılmasıyla, yansıma veren (002) düzlemin şiddetinin arttığı ve tepe noktasının daha düşük açılara kaydığı tespit edilmiştir. Rambu ve arkadaşları tarafından 2013 yılında yapılan çalışmada da benzer sonuçların gözlemlenmiştir (Rambu *et al.* 2013).

Saf ve Ni:ZnO ince filmlerin mikroyapısını ve titreşim özelliklerini incelemek için Raman spektroskopisi ile analiz yapılmıştır. Saf ve Ni:ZnO ince filmler için Raman spektrumu Şekil 4.3'te gösterilmiştir. Raman spektroskopisi kullanılarak, ZnO fonon modlarının varlığı doğrulanmış ve bu sonuçların literatürdeki çalışmalara uygun olduğu anlaşılmıştır (Mathew 2015).

İnce filmlerin ortalama kristalit boyutu SEM analizleri sonucunda sırasıyla Ni katkılama oranına göre, 7,041 nm, 8,463 nm ve 9,578 nm olarak belirlenmiştir, bu değer saf ZnO ince film için 26,53'nm olarak hesaplanmıştır. Ni katkılamanın artmasıyla tanecik boyutunun artması yapılan diğer çalışmalar ile benzerlikler göstermektedir. SEM analizleri, ince filmlerin nanotanecik morfolojisine sahip olduğunu ve ortalama kristalit

boyutunun yaklaşık olarak XRD sonuçları ile tutarlı olduğunu göstermiştir. ZnO ince filmlerinin yüzey morfolojisi, artan Ni katkılama oranı arttıkça daha pürüzlü bir yapı oluşturmaya başlamıştır.

Tavlama yapılmamış ince filmlerin UV-Vis spektroskopisi sonuçları Şekil 4.12.'den, Şekil 4.14.'e kadar verilmiştir. UV-Vis spektroskopisi sonuçları, ince filmlerin görünür bölgede optik olarak şeffaf olduğunu ve ince filmlerin optik bant aralığının Ni katkılama ile önemli ölçüde değiştiğini ortaya koymuştur. Katkılama ile bant aralığında düşüş yaşanmış ve katkılama sonucunda elde edilen Ni:ZnO ince filmlerin geçirgenliklerinin 450 nm'de %90 yakın olduğu tespit edilmiştir.

Çizelge 5.1. Saf ZnO ve Ni:ZnO ince filmlerin yasak enerji aralıkları.

Ni Katkılama oranı (%)	E_g
0,00	3,240 eV
0,16	3,230 eV
0,20	3,110 eV
0,24	3,150 eV

Çizelge 5.1 incelendiğinde saf ZnO'in yasak enerji aralığı değerlerinin, Ni:ZnO'in yasak enerji değerlerine göre daha büyük olduğu görülmüştür. Başka bir deyişle artan Ni katkılama ile yasak enerji aralığı değerinde azalma olduğu tespit edilmiştir. Sonuçların, daha önce yapılan çalışmalarda elde edilen sonuçlar ile uygun olduğu görülmektedir. Elde edilen sonuç genel olarak XRD sonuçları ile de uyumludur. Kristal kalitesi bozuldukça, yasak enerji aralığında azalma meydana gelmektedir.

Şekil 4.15'te farklı sıcaklıklarda tavllanmış ZnO ince filmler için XRD spektrumları gösterilmektedir. Filmlerde, ZnO (002)'ye karşılık gelen pik değeri tespit edilmiştir ve bu da c eksenini tercihli bir polikristalin wurtzite fazının oluştuğunu göstermiştir. Tavlama ile

(002) kırınım piklerinin şiddeti artmış ve yarı genişlik değeri azalmıştır. Sonuçlar, tavlama sıcaklığının artışıyla, ZnO filmlerin kristal kalitesinin arttığını göstermiştir.

Tavlanmış ZnO ince filmlerin mikroyapısını ve titreşim özelliklerini incelemek için Raman spektroskopisi ile analiz yapılmıştır. Tavlanmış ZnO ince filmler için Raman spektrumu Şekil 4.17'de gösterilmiştir. Raman spektroskopisi kullanılarak, ZnO fonon modlarının varlığı doğrulanmış ve bu sonuçların literatürdeki çalışmalara uygun olduğu anlaşılmıştır.

Şekil 4.18 – Şekil 4.21'de, çeşitli tavlama sıcaklıklarında hazırlanan ZnO ince filmlerin SEM görüntüleri verilmiştir. Tavlama sıcaklığı arttırıldıkça tanecikler irileşmiş ve sıcaklığın 550°C'ye çıkarılmasıyla ince film neredeyse tek bir tanecik haline gelmiştir. SEM görüntülerinden, tavlama ile ince filmlerin yüzeyleri sertleştiği ve pürüzsüzlüğün arttığı tespit edilmiştir.

Tavlanmış ZnO ince filmlerin ince filmlerin UV-Vis spektroskopisi sonuçları Şekil 4.22, Şekil 4.23 ve Şekil 4.24'te verilmiştir. UV-Vis spektroskopisi sonuçları, tavlanmış ince filmlerin görünür bölgede optik olarak şeffaf olduğunu ve ince filmlerin optik bant aralığının tavlama ile önemli ölçüde değiştiğini ortaya koymuştur.

Çizelge 5.2. Farklı sıcaklıklarda tavlanmış ZnO ince filmlerin yasak enerji aralıkları.

Tavlama Sıcaklığı	E_g
İşlemsiz	3,240 eV
400°C	3,230 eV
450°C	3,230 eV
500°C	3,240 eV
550°C	3,260 eV

Çizelge 5.2 incelendiğinde, tavlammamış ZnO yasak enerji aralığı değeri, 400, 450 ve 500°C tavlammış ZnO ince filmlerin yasak enerji değeriğine göre daha büyüktür. Sadece 550°C tavlamm filmi yasak enerji değeri tavlammamış filmde büyüktür. Yani artan tavlama sıcaklığı ile yasak enerji aralığı değeri ilk başta azalmış, daha sonra artmıştır. Elde edilen sonuçların, daha önce yapılan çalışmalarda elde edilenler ile uygun olduğu görülmektedir. Tavlama ile ZnO ince filmlerin geçirgenliklerinin 450 nm’de %95’e yakın olduğu tespit edilmiştir.

ZnO ince filmler optik ve yapısal özellikleri nedeniyle, güneş pili uygulamaları için alternatif bir malzeme olabileceğini göstermektedir. Thakur ve arkadaşları tarafından 2013 yılında yapılan çalışmada elde edilen malzemenin bu özelliğini doğrulamaktadır (Thakur *et al.* 2013). Özellikle, boya yüzeyine duyarlı güneş pili uygulamalarında foto anot malzemeleri olarak kullanılabileceği ve geniş yüzey alanına sahip nano tanelerden oluştuğu düşünülmektedir.

Sıçratma yöntemi ile ince film elde edilirken, katkılama süresinin artırılması, RF ve DC gücünün yükseltilmesi sayesinde Ni katkı oranının daha da artırılacağı düşünülmektedir. Ancak elde edilen sonuçlara göre, katkılama arttıkça geçirgenliğin azaldığı ve bant aralığı küçölme eğilimi gösterdiği de göz önünde bulundurulmalıdır. Ayrıca tavlama sıcaklığının 550 °C yükseltilmesi ile saf ZnO ince filmi bant aralığından daha büyük bir bant aralığına sahip ince film elde edilmiş olup sıcaklığının daha da artırılması ile çok daha büyük bant aralığına sahip filmler elde edilebileceği düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- Ammaih Y., Lfakir A., Hartiti B., Ridah A., Thevenin P., Saidat M., 2014 Structural, Optical and Electrical Properties of ZnO: Al Thin Films for Optoelectronic Applications, *Optical and Quantum Electronics* 46(1), 229–234.
- Bayram Ö., Sener E., Igman E., Simsek O., 2018, Investigation of Structural, Morphological and Optical Properties of Nickel-Doped Zinc Oxide Thin Films Fabricated by Co-Sputtering, *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 3452 – 3458.
- Bayrak Ö., 2013, Plazma Oksitleme İşleminin $Ti_{60}Al_{7}Nb$ ve $Ti_{45}Nb$ Alaşımlarının Tribolojik, Elektrokimyasal ve Biyouyumluluk Özelliklerine Etkisi, Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- Bilgi, S., 2006. Photoluminescence Study Of Ge-Implanted Gase And Inse Single Crystals Grown By Bridgman Method. Y. Lisans Tezi, ODTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Chakraborti D., Narayan J., Prater J., 2007, Room Temperature Ferromagnetism in Zn 1–x Cu x O Thin Films. *Applied Physics Letters* 90(6), 062504.
- Chiang Y.H., Wu S.H., Kou Y., Lee O.K., 2015, Raman Spectroscopy For Grading of Live Osteosarcoma Cells, *Stem Cell Research & Therapy*, 81.
- Das R., Ali E., Hamid S., 2014, Current Applications of X-ray Powder Diffraction: A Review, *Reviews on Advanced Materials Science* 38(2):95-109.
- Diyarbakır B., 2011, Sol-Jel Yöntemi ile Büyütülen Katkısız ve Ni Katkılı ZnO Yarıiletkenlerinin Yapısal ve Optiksel Özellikleri, Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi, Erzurum.
- Evcin A., 2006. Kaplama Teknikleri Ders Notları. Kocatepe Üniversitesi, Afyonkarahisar.
- Erbas, İ.F., 2009. Karbon Esaslı Filmlerin Üretimi ve Karakterizasyonu. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Eren O., 2006 Alüminyum Katkılı ZnO İnce Filmlerinin Bazı Fiziksel Özellikleri, Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi, Eskişehir.
- Fahrenbruch A.L., 1977, Compounds in Solar Energy Conversion, *Journal Crystal Growth*, 39, 73 – 91.
- Fan, Z. and Lu, J.G., 2005, Zinc Oxide Nanostructures: Synthesis and Properties. *Journal of Nanoscience and Nanotechnology*, 5, 1561-1573.
- Fan, Z., Deng, J., Wang, J., Liu, Z., Yang, P., Xiao, J., Yan, X., Dong, Z., Wang, J. and Chen, J., 2016. Ferroelectricity Emerging in Strained (111)-Textured ZrO_2 Thin Films. *Applied Physics Letters*, 108, 012906.
- Ghosh S., Srivastava P., Pandey B., Saurav M., Bharadwaj P., Avasthi D.K., Kabiral D. Shivaprasad S.M., 2007, Study of ZnO and Ni-doped ZnO Synthesized by Atom Beam Sputtering Technique, *Applied Physics A, Materials Science & Processing*, 765 – 769.
- Goh P.S., Ismail A.F., Ng B.C., 2017, Raman Spectroscopy, Membrane Characterization, 31 -46.

- Greene L.E., Law M., Tan D.H., Montana M., Goldberger J., Samorjai G., Yang P., 2005, General Route to Vertical ZnO Nanowire Arrays Using Textured ZnO Seeds. *Nano Letters* 5(7), 1231–1236.
- Gupta R.K., Ghosh K., Patel R., Mishra S.R., Kahol P.K., 2008, Band Gap Engineering of ZnO Thin Films By In₂O₃ Incorporation. *Journal of Crystal Growth* 310(12), 3019–3023.
- Gürmen, S. ve Ebin, B. 2010. Nanopartiküller ve Üretim Yöntemleri - 1. İstanbul Teknik Üniversitesi, 31–38.
- Hembram, K.P.S.S., Mohan Rao, G., 2007, Properties of Zirconia Thin Films Prepared by Reactive Magnetron Sputtering. *Materials Letters*, 61, 502–505.
- Hitchan I., Klaus F., 1993. CVD Principles and Applications, Academic Press, San Diego.
- Ilıcın, S., Caglar, Y., & Caglar, M., 2008, Preparation and Characterization of ZnO Thin Films Deposited by Sol-gel Spin Coating Method, *Journal of Optoelectronics and Advanced Materials*, 10(10), 2578-2583.
- Ismail A., Abdullah M.J., 2013, The Structural and Optical Properties of ZnO Thin Films Prepared at Different RF Sputtering Power, *Journal of King Saud University - Science* 25(3), 209–215.
- Joshi M. and Bhattacharyya A., 2008, Characterization Techniques for Nanotechnology Applications in Textiles, *Indian Journal of Fibre and Textile Research* 33, 304-317
- Joung Y.H., Kang I. H., Kim j. H., Lee S. H., Lee J., Choi W. S., 2012, SiC Formation For a Solar Cell Passivation Layer Using an RF Magnetron Co-Sputtering System, *Nanoscale Research Letters*, 7-22.
- Juárez-Amador L., 2018, Electrical, Optical and Magnetoresistive Behavior of Nanostructured ZnO: Cu Thin Films Deposited by Sputtering. *Journal of Material Science*. 29(18), 15339–15343.
- Kasapoğlu A.E., 2014, Sol – Jel Spin Kaplama Metodu ile Büyütülen ZnO ve ZnO:Fe İnce Filmlerin Yapısal ve Yüzeysel Özellikleri, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Atatürk Üniversitesi, Erzurum.
- Keskenler E.F., Dogan S., Turgut G., Gurbulak B., 2012, Evaluation of Structural and Optical Properties of Mn-Doped ZnO Thin Films Synthesized by Sol-Gel Technique, *Metallurgical and Materials Transactions A*, 5088 – 5095.
- Keskenler E.F., Dogan S., Turgut G., Gurbulak B., 2012, Investigation of Structural and Optical Properties of ZnO Films Co-doped With Fluorine and Indium. *Superlattices Microstruct.* 52(1), 107–115.
- Keskenler E.F., Turgut G., Aydın S., Dogan S., 2012, Effects of Fluorine Incorporation on The Microstructure and Optical Properties of ZnO Thin Films Synthesized by Sol-gel Technique, *Scientific Research and Essays*, 3816 – 3822.
- Kim C.E., Moon P., Kim S., Myoung J.M., Jang H.W., Bang J., Yun I., 2010, Effect of Carrier Concentration on Optical Bandgap Shift in ZnO: Ga Thin Films, *Thin Solid Films* 518(22), 6304–6307.
- Ko, J. H., Kim, S. H., JeeSeung, H. and Yoon, Young, S., 2006. Characteristics of ZrO₂ Thin Films Deposited by Reactive Magnetron Sputtering. *Journal of the Korean Physical Society*, 50 (6), 1843-1847.
- Koc, P., Tekmen, S., Baltakesmez, A., Tuzemen, S., Meral, K., and. Onganer, Y., 2013. Stimulated Electroluminescence Emission From n-ZnO/p GaAs:Zn Heterojunctions Fabricated by Electro-Deposition, *AIP Advances*, 3, 122107.

- Köç P., 2016, RF-Magnetron Sıçratma Yöntemi İle Cam Altaşlar Üzerine İnce Filmlerin Oluşturulması ve Elde Edilen İnce Filmlerin Karakterizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Atatürk Üniversitesi, Erzurum.
- Kumar, N. S., Bangera, K. V., & Shivakumar, G. K., 2014, Effect of Annealing on the Properties of Zinc Oxide Nanofiber Thin Films Grown by Spray Pyrolysis Technique. *Applied Nanoscience*, 4(2), 209-216.
- Kumar, A., Dhiman, P., & Singh, M., 2016, Effect of Fe-doping on the Structural, Optical and Magnetic Properties of ZnO Thin Films Prepared by RF Magnetron Sputtering. *Ceramics International*, 42(7), 7918-7923.
- Kumar V., Gohain M., Kant R., Ntwaeaborwa O.M., Hari P., Swart H.C., Dutta V., 2018 Annealing Induced Oxygen Defects on Green Sonochemically Synthesized ZnO Nanoparticles for Photoelectrochemical Water Splitting, *Chemistry Select* 3 (42), 11914 – 11921.
- Kuran Ö., 2016, ZnO Tabanlı Transparan İnce Film Transistör Tasarımı ve Üretimi, Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Li T., Qui, H., Wu P., Wang M., Ma R., 2007, Characteristics of Ni-Doped ZnO:Al Films Grown on Glass by Direct Current Magnetron Co-Sputtering, *Elsevier Thin Solid Films*, 3905 – 3909.
- Liu H., Ran Y., Jia L., Lu H., Zhao S., Zhao H., Li Y., Jiang Z., Wang Z., 2018, Structural and Optical Properties of Cu–N Codoped ZnO Thin Films Deposited by Magnetron Cosputtering, *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 9901 – 9907.
- Mahendran R., Kashif M., Manickam S., Venkatachalam S., 2013 Structural and Optical Characterization of ZnO Thin Films Annealed at Different Temperatures, *Journal of Applied Sciences Research* 9(9), 5460-5467.
- Mason, T.D., Perry, N.H., 2010. Grain core and grain boundary electrical/dielectric properties of yttria-doped tetragonal zirconia polycrystal (TZP) nanoceramics. *Solid State Ionics*, 181,276-284.
- Mass J., Bhattacharya P., Katiyar R.S., 2003, Effect of High Substrate Temperature on Al-Doped ZnO Thin Films Grown by Pulsed Laser Deposition, *Elsevier Materials Science and Engineering: B*, 9 – 15.
- Mathew J.P., Varghese G., Mathew J., 2015, Effect of Annealing on the Optical Properties of Transition Metal Doped ZnO Thin Films, *Materials Science and Engineering* 73, 012065.
- Misture S.T. and Snyder R.L., 2001, X-ray Diffraction, *Encyclopedia of Materials: Science and Technology*, 9799, 9808.
- Mondal S. and Mitra P., 2013, Preparation of Ni Doped ZnO Thin Films by SILAR and Their Characterization, *Indian J Phys.*, 125 – 131.
- Morkoç H., and Özgür Ü., 2008 , *Zinc Oxide: Fundamentals, Materials and Device Technology*, Wiley, 488s, New York.
- Muiva C.M., Sathiaraj T.S., Maabong K., 2011, Effect of Doping Concentration on the Properties of Aluminium Doped Zinc Oxide Thin Films Prepared by Spray Pyrolysis for Transparent Electrode Applications, *Ceramics International* 37 (2), 555 – 560.

- Özgür U., Allivov, Y., Liu, C., Teke, A., Reshchikov, M. A., Doğan, S., Avrutin, V., Cho, S. J., Morkoç, H., 2005, A Comprehensive Review of ZnO Materials and Devices, *Journal Of Applied Physcs*, 98, 298-301.
- Pandey B., Ghosh S., Srivastava P., Avasthi D.K., Kabiraj D., Pivin J.C., 2008, Synthesis and Characterization of Ni-Doped ZnO: A Transparent Magnetic Semiconductor, *Elsevier Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 3347 – 3351.
- Pandey B., Ghosh S., Srivastava P., Kabiraj D., Shripati T., Lalla N.P., 2009, Synthesis of Nanodimensional ZnO and Ni-doped ZnO Thin Films by Atom Beam Sputtering and Study of Their Physical Properties, *Elsevier Physica E*, 1164 – 1168.
- Peng L., Fang L., Zhao Y., Wu W., Ruan H., Kong C., 2017, Growth and Characterization of Indium Doped Zinc Oxide Films Sputtered From Powder Targets, *J. Wuhan Univ. Technol.-Mater. Sci. Ed.* 32(4), 866–870.
- Polat, E.G., 2009. Sol-Jel Yöntemi İle Bakır Ve Kalay Katkılı Zno İnce Filmlerin Üretilmesi, Optik Ve Mikroyapısal Karakterizasyonu. Yüksek Lisans Tezi, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Gebze.
- Proyer, S. and Stangl, E., 1995. Time-Integrated Photography of Laser - Induced Plasma Plumes. *Applied Physics A-Materials Science & Processing*, 60(6), 573-580.
- Proyer, S., Stangl, E., Borz, M., Hellebrand, B. and Bauerle, D., 1996. Particulates on Pulsed-Laser Deposited Y-Ba-Cu-O films. *Physica C*, 257(1-2), 1-15.
- Rambu A.P., Ursu L., Iftimie N., Nica V., Dobromir M., Iacomì F., 2013 Study on Ni-doped ZnO Films as Gas Sensors, *Applied Surface Science*, 280 - 284.
- Siddheswaran R., Savkova J., Medlin R., Ocenasek J., Ondrej Z., Novak P., Sutta P., Highly C-Axis Oriented ZnO:Ni Thin Film Nanostructure by RF Magnetron Sputtering: Structural, Morphological and Magnetic Studies, *Elsevier Applied Surface Science*, 524 – 531.
- Singla G., Singh K., Pandey O., 2013, Williamson–Hall Study on Synthesized Nanocrystalline Tungsten Carbide (WC). *Applied Physics A* 113(1), 237–242.
- Sönmezoğlu S., Koç M., Akın S., 2012, İnce Film Üretim Teknikleri, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 28(5), 389-401.
- Steele B.C.H., 1991, *Electronic Ceramics*, Elsevier Science Publishing Co., London.
- Steiner, T., *Nanostructures for Optoelectronic Applications*, Artech House Inc., London, 2004.
- Suchea M., Christoulakis S., Katsarakis N., Kiriakidis G., 2007, Comparative Study of Zinc Oxide and Aluminum Doped Zinc Oxide Transparent Thin Films Grown by Direct Current Magnetron Sputtering, *Elsevier Thin Solid Films*, 6562 – 6566.
- Taguchi, M., Nakane, T., Matsushita, A., Sakka, Y., Uchikoshi, T., Funazukuri, T., Naka T., 2014. One-pot synthesis of monoclinic ZrO₂ nanocrystals under subcritical hydrothermal conditions. *J. of Supercritical Fluids* 85, 57– 61.
- Thakur S., Kumar J., Sharma J., Sharma N., Kumar P., 2013, Structural and Optical Study of Nickel Doped ZnO Nanoparticles and Thin Films for Dye Sensitized Solar Cell Applications, *Journal of Optoelectronics and Advanced Materials* 15(7-8), 989-994
- Tatar D., 2015, Spray Pyrolysis Yöntemi İle Farklı Altlık sıcaklığında Elde Edilen SnO₂ ve SnO: F İnce Filmlerin Bazı Fiziksel Özelliklerine Altlık Sıcaklığının Etkisinin Araştırılması, Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Atatürk Üniversitesi, Erzurum.

- Tilley R.J., 2006, Crystals and Crystal Structures, Wiley, 270s, New York.
- Tüzemen E., 2007. ZnO İnce Filmlerinin Eldesi ve Aygıt Üretimi İçin Parametrelerinin Optimizasyonu. Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çukurova Üniversitesi, Adana.
- Wang, C.-M., Fan, K.-N., Liu, Z.-P., 2007. Origin of oxide sensitivity in gold-based catalysts: a first principle study of CO oxidation over Au supported on monoclinic and tetragonal ZrO₂. J. American Chemical Society, 129, 2642–2647.
- Wang, Z.L., 2004, Zinc oxide nanostructures: growth, properties and applications, J. Phys.: Condens. Matter., 16, 829-858.
- Wasa, K. and Hayakawa S., 1992. Handbook Of Sputter Deposition Technology, Noyes Publications, Osaka, 304p.
- Xu. Q.A., Zhang. J.W., Ju. K.R., Yang. X.D., Hou. X., 2005. ZnO thin film photocoductive ultraviolet detector with fast photoresponse. Xi'an, 71006.
- Yacobi, B.G., 2002. Semiconductor Materials, Kluwer Academic/Plenum Publishers, Newyork, Boston, Dordrecth, London, Moscow,
- Yan X., Hu D., Li H., Li L., 2011, Nanostructure and Optical Properties of M Doped ZnO (M = Ni, Mn) Thin Films Prepared by Sol–gel Process, Physica B Condensed Matter 406(20), 3956–3962.
- Yilmaz M., 2014, Characteristic Properties of Spin Coated ZnO Thin Films: The Effect of Ni Doping, Royal Swedish Academy of Sciences, 802 – 809.
- Yumak A., Turgut G., Kamoun O., Ozisik H., Deligoz E., Petkova P., Mimouni R., Boubaker K., Amlouk M., Said S. G., 2015, Stability and Morphology-Dependence of Sc³⁺ Ions Incorporation and Substitution Kinetics Within ZnO Host Lattice, Elsevier Materials Science in Semiconductor Processing, 103 – 111.
- Yurtcan, M.T., Şimşek, Ö. ve Ertuğrul, M., 2011, YBCO Thin Film Deposition With Pulsed Laser Deposition (PLD) EÜFBED - Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 4(2), 157-167.
- Zhao, X., Jin, J., Cheng, J.-C., Lee, J.-W., Wu, K.-H., Lin, K.-C., Tsai, J.-R., Liu, K.-C., 2014. Structural and optical properties of zirconia thin films deposited by reactive high-power impulse magnetron sputtering. Thin Solid Films, 570, 404–411.

ÖZGEÇMİŞ

12.09.1990 tarihinde Erzurum’da doğdu. İlk, orta, lise öğretimini Erzurum’da tamamladı. 2010 yılında girdiği Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Elektrik – Elektronik Mühendisliği Bölümü’nden 2014 yılında mezun oldu. 2016 yılında Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde Yüksek Lisans öğrenimine başladı. Türk Telekom Erzurum Bölge Müdürlüğü Erişim Operasyon Müdürlüğünde, Fiber Optik Uzman Mühendisi olarak çalışma hayatına devam etmektedir.

